ISSN 0203–5626

Академия наук СССР

Новые данные о минералах

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

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

ЛАБОРАТОРИЯ
МИНЕРАЛОГИИ
Л. ПАУТОВА И К°

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛАХ

ВЫПУСК 37

Серия основана в 1949 г.

МОСКВА
"НАУКА"
1991

УДК 549

Новые данные о минералах. - М.: Наука, 1991. Вып. 37. - 187 с.

В статьях сборника освещены различные вопросы минералогии. Большинство из них содержит детальные описания редких минералов из различных регионов СССР и зарубежных месторождений (мгриита, петровицита, разного состава селенидов, ртутистого золота). Описана новая щелочно-дефектная хром-алюминиевая разновидность дравита. Публикуются подробные данные по типоморфизму диоксидов урана, уточнению формулы нагиагита, по описанию нового типа малых минеральных тел, сложенных лютецином. В сборник помещены также малоизвестные сведения о развитии минералогии в России в XVIII в., краткий биографический очерк о М.Н.Годлевском - известном геологе-руднике и минералоге широкого профиля.

Для минералогов, геохимиков, петрографов, геологов, специалистов по истории науки.

Редакционная коллегия
Профессор А.А.ГОДОВИКОВ (ответственный редактор),
доктор геолого-минералогических наук М.Д.ДОРФМАН,
кандидат геолого-минералогических наук Е.А.БОРИСОВА
(ответственный редактор выпуска), кандидат геолого-
минералогических наук М.Б.ЧИСТЯКОВА, Д.И.БЕЛАКОВСКИЙ

This volume contains the articules concerning different aspects of mineralogy. Most of them are detailed description of rare minerals from different regions of the USSR and abroad (mgriite, petrovotzite,selenides of different compositions, Hg-containing gold). New Cr-Al-variety of dravite with defects in alcali ion sites is described. Very detailed information is given on the typomorphism of uranium dioxide, on defining more exectly the formula of nagiagite, on description of small mineral bodyes of new type, formed by lutecine.The volume contains too almost unknown information about developing of mineralogy in Russia in XVIII, short biographical article about M.N.Godlevskiy - wideknown geologist and mineralogist.

The book is interested for mineralogists, geochemists, petrographists, geologists, specialists in history of science.

Н $\frac{1804020000-228}{042(02)-91}$ 335-91, II полугодие

© Издательство "Наука", 1991

УДК 549 (09)

М.Н.Годлевский, А.В.Немилова

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ МИНЕРАЛОГИИ В РОССИИ В XVШ в.[I]

История минералогии в XVШ столетии разработана сравнительно мало, и главнейший представитель ее - М.В.Ломоносов был незаслуженно забыт уже в конце XVШ в. и начале следующего. Так, например, Севергин в своем "Похвальном слове..." называет Ломоносова не минералогом, а химиком и металлургом[2] [I4], в "Истории минералогии" Теряева [25] упоминается только один труд Ломоносова, а в "Реперториуме" Берга [26] имя Ломоносова вообще отсутствует. Геологические работы Ломоносова были, как известно, "первооткрыты" В.И.Вернадским и особенно Б.Н.Меншуткиным. Нас уже давно привлекала мысль исследовать и отразить ту научную обстановку, в которой проходила деятельность Ломоносова, в частности в области геологии и минералогии. Подобный труд можно было бы озаглавить так: "Ломоносов и его эпоха". Постепенно тема разрасталась и захватила весь XVШ в., хотя и фрагментарно. В результате появились настоящие очерки, которые, не претендуя на полноту, несомненно дадут материал для будущего историографа русской минералогии.

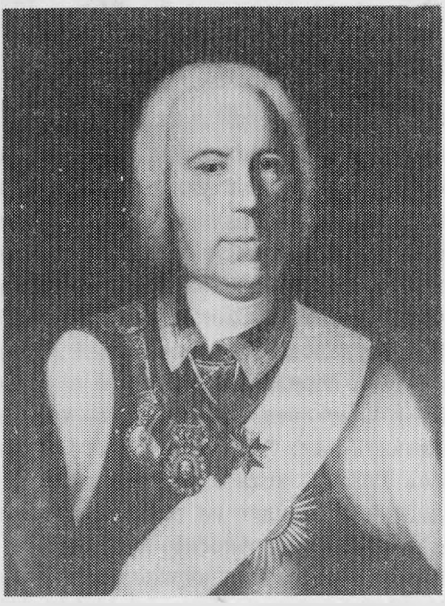
Заметим, что в XVШ в. не существовало той дифференциации наук, какая существует теперь, и прихотливо сочетались такие отрасли знания, как минералогия (включая петрографию), химия, медицина, изучение руд, физика, горное дело, металлургия и т.д., и ученые, занятые ими, именовались естествоиспытателями.

От Петра I до Ломоносова

Истоки минералогии как науки лежат в глубокой древности; еще ученик Аристотеля Теофраст написал трактат "Пери литос" ("О камнях"). В середине века следует упомянуть Альбертуса Магнуса и Авиценну. В России началом изучения минералов следует считать создание кунсткамеры Петром I. В Амстердаме Петр познакомился с де Гениным (немцем по происхождению) и принял его на русскую службу. Де Генин (рис.I) пользовался большим доверием Петра и был одним из его ближайших помощников в развитии горного дела в России. Заслуги де Геннина в развитии горного промысла в России исключительны. Кроме того, имя его связано с началом горного образования: в бытность начальником Олонецких заводов он завел там горную школу, а будучи переведен на Урал в I722 г., взял на себя руководство тамошними школами при Уктусском и Кунгурском заводах. Известен труд де Генина - его описание уральских и сибирских заводов, обычно сокращенно называемый "Натуралии и минералы", или "Абрисы". Создана была замечательная по тому времени работа, представляющая собой энциклопедическое руководство по горному делу и металлургии. В.И.Вернадский называет де Генина "первым писателем по минералогии в России" и отмечает особый интерес его работы с точки зрения сведений о минералах из рудников, уже закрытых к концу XVШ столетия. Труд де Генина был опубликован полностью только в I937 г.

I Настоящая работа не была подготовлена авторами к печати. Но, так как она содержит малоизвестные сведения о развитии минералогии в России в XVШ в., редколлегия сочла возможным поместить статью в сборнике в том виде, в каком она была написана авторами.

2 В этом нет ничего удивительного, поскольку в ту пору многие естествоиспытатели рассматривали минералогию как часть химии и металлургии; кстати, и у Севергина половина трудов посвящена химии, которая ему также многим обязана. - Прим. отв. ред.



Р и с. I. Г.В.(В.И.) де Геннин (1676-1750 гг.). Масло. Неизвестный художник (XVШ в.). Собр. Эрмитажа

Видной фигурой в начальный период развития минералогии в России несомненно является И.А.Шлаттер (I708-I768). Его отец был вызван Петром I и назначен асессором в Берг-коллегию, а сам он в возрасте I4 лет был зачислен туда же пробирным мастером. В I727 г. он исследует признаки медных руд в окрестностях Дудергофа. И.А.Шлаттера надо считать зачинателем пробирного искусства в России. В I740 г. он начал применять новый усовершенствованный им способ аффинажа золота и разделения золота и серебра. В Петербурге им основана была пробирная лаборатория. Он был членом Академии наук. Количество оригинальных сочинений и переводов Шлаттера довольно значительно. Для нас наибольший интерес представляет "Обстоятельное наставление рудному плавильному делу...". В этом сочинении Шлаттер показал себя крупным ученым, далеко шагнувшим вперед по сравнению со своим временем. Некоторые его положения выглядят вполне современно. Он, между прочим, говорит: "Жильные руды или каменья, например кварц, шпат, глиммер, флюс, каменный мозг и прочие, горы не составляют, но токмо между главными горными родами (породами. - М.Г.), из которых горы состоят, в жилах, прожилочках, штокверках, флецах и гнездах находятся; того ради они от главных горных родов отличны и за такие почитаться не должны". Шлаттер указывает на околожильный метасоматоз: "... случается, что главная жила сильно провожатого своего удобряет, что на оном больше руды добыть можно, нежели на самой жиле". Говорит Шлаттер и о поисковых признаках в зонах окисления рудных месторождений: "Иногда гуры (материя, которая наподобие масла коровья из камня выступает) жилы изменяют: ибо зеленая гура указывает на медь, алая - на висмут и на кобальт, а белая - обыкновенно на серебросодержащие руды". Шлаттер рекомендует обращать внимание на деревья, животных, гадов, на то, как лежит снег, как растет трава. Так, например, "если полоса травы как будто от жару пожелтела или выгорела, то под ней обычно рудная жила простирается (Обстоятельное наставление рудному делу... СПб, I760. 292 с.). Шлаттер касается поисков рудных жил по шлихам и валунам.

В круг задач, поставленных перед Академией наук, входила организация экспедиций для всестороннего исследования страны. При тогдашних способах передвижения экспедиции длились месяцы, иногда даже годы. Одним из первых ученых, исследовавших минеральные ресурсы страны, следует упомянуть Иоганна Георга Гмелина-старшего (рис. 2). Гмелин родился в 1709 г. в Тюбингене, сын аптекаря. Там же окончил университет, защитил диссертацию по химии в 1727 г. (в возрасте 18 лет). В том же году приехал в С.-Петербург, будучи приглашен в Академию наук. В 1728 г. он получил в Тюбингеме диплом доктора медицины и в 1731 г. был назначен ординарным профессором химии и натуральной истории в Академии наук.

Р и с. 2. И.Г.Гмелин (1709-1755 гг.). Гравюра. Неизвестный немецкий художник (XVШ в.). Собр. Эрмитажа

Первой работой Гмелина в Академии было приведение в порядок Кунсткамеры и составление каталога коллекций. В 1732 г. Гмелин был избран в число участников первой академической экспедиции (так называемой 2-й Камчатской) и в 1733 г. отправился в Сибирь вместе с академиками Миллером (историком) и Демиль де ла Кройером (астрономом). Путь следования их был следующий: по Волге (от Твери до Казани), Тобольск, Иртыш, Обь, Томь, Енисейск, Красноярск, Иркутск, Селенгинск, Ангара, Байкал, китайская граница, Нерчинск, Аргунь, снова Иркутск; оттуда поездка в Якутск (1736), возвращение в Иркутск, далее Енисейск, Туруханск (Мангазею), Красноярск, Томск (1741). Оттуда начали обратный путь через Тюмень, Екатеринбург и Верхотурье до С.-Петербурга, куда экспедиция вернулась в 1743 г. До Камчатки академики не доехали. Туда был отправлен в самостоятельную экспедицию из Якутска Степан Крашенинников, прикомандированный к Гмелину (о нем см. ниже).

Таким образом, экспедиция Гмелина длилась 10 лет. Гмелин делал неоднократные попытки вернуться, посылал донесения в С.-Петербург по этому поводу, но в ответ получал отказы, и только в 1743 г. ему разрешено было вернуться. Гмелин, раздраженный этой "ссылкой", как сам он называл свое длительное пребывание в Сибири, подал в 1744 г. прошение об отставке. Но прошение было оставлено без последствий, так же как и все дальнейшие ходатайства об освобождении от должности. В 1747 г.

ему пришлось против своего желания возобновить контракт с Академией сроком на 4 года. Однако в контракте было оговорено право на годичный отпуск, которым Гмелин воспользовался, чтобы уехать на Родину и не возвращаться больше в Россию. Остаток жизни он провел в Тюбингене, занимая должность профессора.

Свои собрания минералов и гербарий Гмелин завещал Минералогическому кабинету С.-Петербургской академии наук.

Каталог Гмелина был использован Ломоносовым при составлении его каталога Минералогического музея в 1741 г. (издан в 1746 г.). Гебель отмечает большую точность и добросовестность в работе Гмелина.

Капитальным трудом Гмелина является описание его путешествий. Этот труд никогда не был переведен на русский язык, вероятно, потому, что при появлении своем вызвал большое недовольство в России вследствие целого ряда насмешливых отзывов Гмелина о русском народе.

Можно выделить следующие места книги, касающиеся минералов. Так, автор говорит об озерной соли, подобной глауберовой, в районе Иртыша, о кубической форме кристаллов озерной соли, о тальке (слюде) и его добыче на Витиме и т.д. В главе о Мангазее (Туруханске) автор указывает, что в устье ручья Пакулинки находится очень богатая железная руда в окатанных кусках, из которых иные похожи на морских ежей, иные имеют вид крупных желваков. Некоторые напоминают гематит по блеску и твердости, другие имеют вид "окаменелова дерева". Он нашел еще другую железную руду - листоватую, желтую, охристую. Там же он видел различные камни, между ними бледно-голубые по твердости, как мрамор, камни белые и желтоватые, прозрачные и твердые, как агат, плавики всех цветов. По Енисею Гмелин находил медную руду, "подобную малахиту, но хрупкую, как шлак, и местами такая же блестящая и другая, сходная с ней, но красноватая". Близ слияния Абакана с Енисеем он видел "прекрасные медные цветы, зеленовато-синие в ганге темно-буром, очень твердом, из мелких кусков". Между Красноярском и Томском, по ручью Кучук, автор видел "мелкие колчеданные жилки цвета миспикаля и там же зеленые медные цветы, которые, возможно, суть произведения колчеданных жил" (какое верное наблюдение! - М.Г.).

Далее следует описание горы Магнитной и найденных там "магнитов": "В Шилове добывается, кроме красных бурых колчеданов, желтовато-белый миспикаль и зеленая медная руда". В окрестности деревни Мурзинки автор видел копи, где добываются топазы, лучше саксонских, наконец, автор описывает руды Лялинского месторождения. Эта руда, "подвергнутая плавке, содержит другое вещество, похожее на вольфрам, оно тяжелее, чем железная руда и чем медь, свойства его неизвестны". Несомненно, мы имеем образцовое маршрутное исследование с подробным описанием минералов, к которому должны стремиться и современные геологи.

Но наиболее значительным, показывающим всю глубину мышления Гмелина, является описание асбестовых жил Бумажной, или Шелковой, горы к востоку от реки Тагила. Здесь автор исследует самый процесс минералообразования, вскрывая его генетическую сущность. Он пишет: "Кажется, что природа приподнимает здесь свой покров и позволяет видеть путь, которым переходит от синеватого камня, черноватого или серого к зеленому волокнистому, а от него к асбесту. Я полагаю, что серый камень от самого сотворения имеет такое внутреннее строение, что со временем он неминуемо должен стать волокнистым асбестом" (Гмелин И.Г. Об озерной соли. СПб., 1731).

Мы уже писали, что Гмелин отправил своего сотрудника Крашенинникова далее на восток и поручил ему самостоятельное обследование Камчатки. Так началось знаменитое путешествие, получившее всемирное признание и вошедшее в золотой фонд русской науки.

Степан Петрович Крашенинников (рис. 3) родился в Москве в 1711 г., сын солдата. Учился в Заиконоспасском духовном училище до 1732 г., когда из С.-Петербурга были затребованы наиболее способные ученики для пополнения Академической гимназии. В числе прочих в С.-Петербург был отправлен и Крашенинников. В 1733 г. студент Крашенинников был включен в состав 2-й Камчатской экспедиции под руководством Гмелина и отправлен им самостоятельно на Камчатку, где пробыл до 1740 г. и изъездил весь полуостров. Настойчивость и энергия Крашенинникова просто поразительны. За сравнительно короткий срок, принимая во внимание трудные условия работы, он создал классический труд по природе Камчатки под названием "Описание Земли Камчатки, сочиненное Степаном Крашенинниковым, Академии наук профессором", 2 тома, изданные уже после смерти автора.

Р и с. 3. С.П.Крашенинников (1713-1755 гг.). Гравюра. А.Осипов (начало XIX в.). Собр.Эрмитажа

В 1743 г. Крашенинников совместно с другими вернулся в С.-Петербург. В 1745 г. он получил звание адъюнкта натуральной истории Академии наук, в 1748 г. он назначается ректором Академической гимназии, а в 1755 - профессором натуральной истории. В том же году Крашенинников умер, всего 42 лет от роду.

С точки зрения минералогии интересен только упомянутый главный труд Крашенинникова, а именно две его главы: "О выгодах и недостатках Камчатки" и "О горячих ключах". Им была собрана коллекция минералов и пород, находимых в отложениях горячих ключей. В заключение он добавляет, что "большая часть объявленных ископаемых выслана была от меня с Камчатки для Императорской кунсткамеры".

Ломоносов и его время

Дальнейшее развитие русской минералогии тесно связано с именем Ломоносова [1, 3].

Михайло Васильевич Ломоносов (рис. 4) родился в 1711 г. в дер. Денисовке Куростровской волости Архангельской губернии (недалеко от Холмогор). Он был единственным сыном богатого крестьянина-помора. Биография его хорошо известна, и мы не будем останавливаться на том, как "архангельский мужик по своей и божьей воле стал разумен и велик" [9]. Самая краткая и в то же время самая исчерпывающая

Р и с. 4. М.В.Ломоносов (I7II-I765 гг.).
Неизвестный художник (середина XVШ в.).
Собр. Эрмитажа

и верная характеристика деятельности Ломоносова принадлежит другому русскому гению - А.С.Пушкину. Он писал: "Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенной силой понятия, Ломоносов объял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшей страстью сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он все испытал и все проник".

Геология никогда не была главной отраслью научной деятельности Ломоносова, однако и в этой области знания он может считаться основоположником ее на русской почве. Нам хотелось бы воскресить ту научную атмосферу, в которой творил Ломоносов, и через это показать его величие. Сквозь плотный туман флогистики все виделось искаженным, как бы перевернутым, а обычно при суждении о старых работах упускается из внимания эта историческая перспектива.

Важно не только то, что знал Ломоносов (какой суммой фактических знаний обладал), но и как знал. Последнее, пожалуй, важнее при оценке деятельности ученого.

И все же, несмотря на то что научное мировоззрение Ломоносова развивалось под эгидой немецкой натурфилософии середины XVШ в. (в эпоху господства теорий флогистона, теплорода), сила предвидения его была колоссальна и, вероятно, намного еще и теперь опережает нашу эпоху. В то же время творчество Ломоносова было органически связано с культурными и общественно-экономическими условиями жизни России в целом. Высокое развитие естественнонаучной мысли в России, отразившееся в трудах и открытиях Ломоносова, было непосредственно обусловлено значительным подъемом экономики страны в XVШ в., сравнительно интенсивным освоением новых экономических районов, развитием мануфактурных производств и горного дела, которые спо-

собствовали прогрессу знаний в области физики, химии, геологии, географии и других отраслей естествознания.

Интерес к минералогии и рудным месторождениям появился у Ломоносова во время его пребывания во Фрейберге, в Саксонии. Проследить постепенное развитие этого интереса, перерастание его в глубокое знание, отражение этого знания во всей многогранной деятельности Ломоносова является целью настоящего раздела. Лучше всего это сделать, рассмотрев развитие научной деятельности М.В.Ломоносова с самого начала.

Молодой Ломоносов и двое его сотоварищей по Академии, посланные для стажировки в Германию, прежде чем попасть в обучение к известному в то время фрейбергскому металлургу Иоганну Фридриху Генкелю (1679-1744), прошли предварительный курс по физике, механике, математике и химии у выдающегося философа и физика Христиана Вольфа в Марбургском университете. Так случилось, что Ломоносов с самого начала попал в один из центров умственной жизни тогдашней Германии. Преемник Лейбница в области философии Христиан Вольф (1679-1754) хотя и был по своей специальности физиком и принимал участие в очень многих опытных исследованиях, но как в философии, так и здесь не проявил творческого ума. Его воззрения интересны только в качестве свидетельства о том, как близко натурфилософия того времени была знакома с результатами физико-математических исследований и как много она пассивно от них восприняла. Однако Вольф был выдающимся лектором и систематиком, и трехлетнее пребывание в Марбурге несомненно принесло Ломоносову очень много полезного. Он сделался европейски образованным человеком, получил весьма основательные сведения по точным естественным наукам. Академик В.И.Вернадский считает, что "Ломоносов весь проникся духом Вольфа; через него он познакомился с философией Декарта и Лейбница... влияние философии Вольфа было крайне благотворно: оно придало уму его известную школу, позволило ему всюду разбираться на прочных и точных основах" [2, с. 1].

От Вольфа Ломоносов переехал к Генкелю во Фрейберг для усовершенствования по специальности. В то время там еще не существовало Горной академии (она была основана в 1765 г.) и все преподавание велось частным образом разными специалистами с платой по соглашению. Одним из наиболее известных таких частных преподавателей и был горный советник И.Ф.Генкель. Он был, несомненно, выдающимся металлургом и практиком горного дела, однако не принадлежал к ученым с широким философским кругозором, среди которых Ломоносов вращался в Марбурге. Ломоносов не был удовлетворен преподаванием Генкеля, и на этой почве начались раздоры, которые кончились бегством Ломоносова весной 1740 г. из Фрейберга. Характерно, что причиной раздоров Ломоносов выставлял как раз философскую отсталость Генкеля. В письме И.Д.Шумахеру Ломоносов пишет: "В то же время он всю разумную философию презирал, и когда я однажды, по его приказанию, зачал причину химических явлений объяснять (но не по его перипатетическому концепту, а на началах механики и гидростатики), то он тотчас же мне замолчать приказал и с обыкновенной своей наглостью на смех поднял мои объяснения, как несбыточную причуду" [9, с.37]. Все же пребывание в Саксонии не прошло для Ломоносова бесследно, оно стало для него "горной школой". Вернувшись в 1741 г. на родину, М.В.Ломоносов с присущей ему энергией принялся за работу, однако горное дело и металлургия, а также связанные с ними в то время очень тесно геологические науки не стали его основной специальностью. Причина этого неясна: лежала ли она в нежелании отдаться практической деятельности и в стремлении к изучению теоретических наук или в чем-либо ином, сказать трудно.

Все же, несмотря на увлечение химией и физикой, Ломоносов в течение всей своей научной деятельности уделял немало внимания геологическим наукам, в частности и той отрасли, которая в наше время рассматривается как учение о рудных месторождениях.

Ломоносов, будучи широко образованным ученым в области химии и физико-математических наук, стремился к изучению природных геологических явлений, принимая "в размышлении совет от математики, от химии и общей физики". Обладая исключительной наблюдательностью и глубиной мысли, он стремился рассматривать эти явления во взаимной обусловленности, в исторической последовательности событий. Нужно иметь в виду, что во времена Ломоносова в естествознании господствовала натурфилософия, которая пыталась дать законченную систему знаний в природе, основываясь на тех или иных отвлеченных принципах философии, положений механики и т.д. Но естествознание того времени еще не могло дать научного истолкования качественно многообразных явлений природы, их объективных связей и взаимодействий. Объяснялось это тем, что сами науки - механика, физика, химия, биология и другие - возникли и развивались как независимые друг от друга отрасли знания. Тогда химия обходилась без физики, а геология - без химии. Наиболее передовые умы того времени, картезианцы и будущие энциклопедисты во Франции, Лейбниц и его последователи в Германии и среди них в первую очередь учитель Ломоносова Вольф, не могли преодолеть этот механицизм. Вот почему высказывания Ломоносова о взаимодействии и взаимопроникновении наук и вся его деятельность, направленная на раскрытие этих связей, должны рассматриваться как качественно новая, более высокая ступень в развитии философии естествознания. Не случайно Ломоносов, воздавая должное Лейбницу как выдающемуся мыслителю, подверг резкой критике его монадологию и назвал ее мистическим учением. Поэтому вполне естественно, что в его замечательном труде "О слоях земных" [8] в виде дополнения к "Первым основаниям металлургии или рудных дел", насыщенном конкретными практическими указаниями, высказаны многие поразительно правильные догадки и мысли о сущности природных явлений, происходящих в недрах Земли. Таковы, например, его представления о происхождении янтаря, торфа, каменных углей, каменной соли, чернозема и т.д. Во всех этих рассуждениях чрезвычайно характерен актуалистический, вернее сравнительно-исторический, подход к изучаемым геологическим явлениям, введенный им в геологию за 80 лет до Ч.Ляйеля.

М.В.Ломоносов непримиримо боролся со всякого рода проявлениями схоластики, господствовавшими в то время консервативными взглядами на неизменность природы, сохраняющейся будто бы такой, какой ее создал творец. По этому поводу Ломоносов пишет, что "мир не в таком состоянии был от начала создания, как ныне находим, но великие происходили в нем перемены, что показывает История и древняя География", и что рассуждения о неизменности всего созданного "весьма вредны приращению всех наук, следовательно, и натуральному знанию шара земного, а особливо искусству рудного дела, хотя оным умникам и легко быть философами, выуча наизусть три слова: бог так сотворил; и сие дая в ответ вместо всех причин" [8, с. 54].

Наряду с многочисленными изумительно правильными представлениями по вопросам общей геологии в гениальных трудах М.В.Ломоносова имеется ряд положений, которые не оправдались впоследствии в свете современных достижений в области геологических наук. Главным образом это относится к области представлений о химических веществах и процессах, протекающих в земных условиях. Таковы, например, утверждения будто "вода состоит сама собою; на другие материи не разделима", что "металлы

суть тела смешанные из других частей простейших", что "арсеник (т.е. мышьяк. - М.Г.) состоит из тонкой земли, с кислым соленым спиртом смешанной, и т.д. Все подобного рода воззрения отнюдь не являются заблуждениями Ломоносова, а обусловлены господством теории флогистона и общим уровнем знаний в середине XVШ в. Не следует забывать, что в его время из всех химических элементов было известно лишь пятнадцать: C, P, S, Fe, Cu, Zn, As, Ag, Sn, Sb, Pt, Au, Hg, Pb, Bi- и два элемента (Ni и Co) были открыты при его жизни. Как видим, в основном это тяжелые металлы. В то время не было известно существование таких важных элементов, как O, H, N, Cl, Na, K, Ca, Mg, Al. Si, Ti, B, F и др. Поэтому, естественно, не могло существовать сколько-нибудь правильных представлений о геохимических процессах рудообразования, тем более что в химии царила теория флогистона, которая зачастую объясняла явления диаметрально противоположно тому, как они понимаются теперь. Поскольку все процессы минералогии и рудообразования трактуются Ломоносовым с позиции флогистики, скажем о ней несколько слов.

Немецкий химик XVП столетия Иоганн Бехер представлял себе, согласно существовавшим тогда химическим концепциям, что все тела, находящиеся на поверхности земного шара, содержат три земли: меркуриальную, стеклянную и жирную (серную), причем последняя обладает способностью гореть. В начале XVШ в. его ученик Георг Эрнст Шталь (I660-I734), бывший профессором медицины в Галле, сделал существенное добавление к теории Бехера. Он утверждал, что возможно возвратить "серную" или "жирную" землю тем веществам, которые ее утратили при сжигании, а именно нагревая их с веществами, богатыми этой гипотической "жирной землей". "Жирную землю" Бехера Г.Э.Шталь назвал флогистоном. Так, например, свинец, при нагревании на воздухе превращающийся в землистую массу, или, как тогда называли, "известь", может быть снова восстановлен в металлическое состояние путем нагревания с порошком древесного угля или каким-либо другим веществом, богатым флогистоном, т.е. с таким телом, которое само способно гореть. Эта теория получила сейчас же широкое распространение, что и понятно, ведь Г.Э.Шталю удалось то, к чему тщетно стремился И.Ньютон - объединить возможно больший ряд разнообразных химических явлений одним общим объяснением. Это была первая химическая теория, которая охватывала собой почти все факты химии XVШ в. Отметим, что Г.Э.Шталь смотрел на флогистон как на вещественное начало, придающее телу свойство горючести.

Среди сторонников гипотезы флогистона надо назвать прежде всего И.Ф.Генкеля, учителя Ломоносова. Генкель значительно расширил учение Г.Э.Шталя, показав, что горение, сжигание, прокаливание и разрушение металла на огне (обжигание), по существу, явления одного порядка. Но, к сожалению, по мере развития химии представление Шталя о флогистоне как о невещественном физическом начале превратилось в представление о веществе - флогистоне, наделенном такими любопытными свойствами, как отрицательный вес (после того как Ж.Рей и Р.Бойль доказали, что металлы при нагревании, обращаясь в землистый порошок, увеличиваются в весе). Ломоносов признавал флогистон в том виде, какой придал флогистону Г.Э.Шталь, т.е. как качественное начало, сообщавшее телам свойство горючести. Но Ломоносов был ярым противником флогистона и совершенно отвергал все, связанное с этим веществом. В этом отношении он является предшественником А.Лавуазье. Хотя ходячие представления первой половины XVШ в., в частности теория флогистона, и делают странными, на наш взгляд, некоторые высказывания Ломоносова, все же небезынтересно ознакомиться с воззрениями Ломоносова на происхождение рудных месторождений. Несмотря на то что он "главным делом своим считал горную науку", для которой был нарочно

послан в Саксонию, ему ни разу не пришлось побывать в наших горнопромышленных районах, и из его научного литературного наследства на долю геологических проблем падает примерно лишь одна десятая часть. Тем не менее вопросы о происхождении рудных, в частности жильных, месторождений и о процессах формирования "слоев земных" интересовали его на протяжении всей научной деятельности, хотя вплотную он подошел к ним лишь к концу своей жизни. Наиболее точно эти вопросы изложены им в двух трактатах: "Слово о рождении металлов от трясения Земли" [7] и "О слоях земных" [8]. Первое было написано под впечатлением лиссабонского землетрясения и произнесено в публичном собрании в Академии наук 5 сентября 1757 г., в день именин императрицы Елизаветы.

М.В.Ломоносов дает точное определение, что такое жила: "...жилами называются сквозь горы проходящие щели, наполненные минеральными вещами". По его представлениям,"все жилы произведены земным трясением", причину которого он усматривал в вулканических явлениях, обусловленных горением серы (в согласии с существующими тогда философскими взглядами). Сама мысль о связи генезиса жильных месторождений с землетрясениями, т.е. с тектоникой, несомненно замечательна. Никто до Ломоносова, да и значительно позже, не формулировал ее с такой ясностью и определенностью. Ломоносов указывает, что в формировании месторождения главную роль играют не катастрофические землетрясения, а "унижения и повышения, нечувствительные течением времени", и добавляет, что "сие не только на земной поверхности примечательно, но и в недре земном в рудниках показывается ясно. Ибо пустые щели, которыми пересечены жилы, в стороны сдвинуты бывают, также промежки, которыми жилы от горы разделяются, из разной от обеих материй состоящие, ясно представляют, что они после произведения жил родились, большим их расширением, тогда Земля еще ниже опустилась" [7, с. 332]. Ломоносов имел отчетливое представление о возрасте жил. Доказательством неодновременного происхождения рудных залежей служат для Ломоносова "разное жил взаимное пересечение", а также "швы между жилами", "...ясно вообразить - пишет Ломоносов, - что перечная жила,с другой частью не в сутыч лежащая, перервана и раздвинута новой щелью, которая после того металлом наполнилась" [8, с. 568-587]. Эти идеи, имеющие большое теоретическое и практическое значение в учении о месторождениях, были высказаны Ломоносовым за 34 года до А.Вернера, с именем которого они обычно связываются, хотя Вернер опубликовал свою "Новую теорию происхождения рудных жил" только в 1791 г.

Заполнение трещин минеральными веществами Ломоносов представляет довольно оригинальным образом: жильные минералы (кварц, кремень, шпат и др.), по его мнению, имеют один источник, а металлосодержащие минералы - другой. "Дождевая вода сквозь внутренности горы процеживается и распущенные в ней минералы несет с собою, и в иные расселины выжиманием и капанием вступает; каменную материю (т.е. жильные минералы. - М.Г.) в них оставляет таким количеством, что в несколько времени наполняет все оные полости" [7, с. 332]. Подтверждение такому представлению он видит в том, что в старых заброшенных рудниках "горные породы" (крепи) и инструменты, "кои изстари в них оставлены, заросли накипью, рудами и другими минералами". Однако "рождение самих металлов" в жилах, в согласии с теорией флогистона, по его мнению, происходит иным путем. "Пары, серным и арсеникальным духом противные, ходят и растущую на стенках каменную материю, что из горы выжимаются с водою и твердеют, напояют так, что она, получив металлическую светлость, руды имя получает" [7, с. 336]. При этом надо заметить, что большей частью речь идет не об образовании самородных металлов как таковых, а об отложении их сернистых соединений.

По представлениям флогистиков, как мы видели выше, металлы были телами сложными, состоящими из окалины (или стекла), соли (в свою очередь составленной из алкалической и кислой материй) и флогистона. Разбирая вопрос, в каком виде металлы, в "состоянии ли смешения или разделенными вмешенными материями в полых подземых пропастях, странствуют", Ломоносов приходит к выводу, что мигрируют "не целые металлы", а их составные части, или, как он пишет, "к смешению их потребные материи раздельно летают".

Доказательства своей теории Ломоносов видел в том, что в рудниках находится сколько "угодно серы и арсеника, оставшихся от образования металлов". Природные самородные металлы образовались, по его мнению, через опуск (осаждение), причем из них в природе находятся только такие, которые можно получить подобным же образом и в химической лаборатории. Руды других металлов и полуметаллов имеют происхождение, подобное происхождению солей.

Тончайшая горючая и кислая материя берется из серы, разрушаемой подземным огнем. Арсеник, соединяясь с землями, образует полуметаллы. Подземной соли имеются безмерные количества, алкалическая (щелочная) материя ее от действия подземного огня соединяется с землей,а кислый спирт отпускается на волю. Животные и "прозябающие вещи" (растения) тоже участвуют в рождении металлов, давая алкалическую и кислую материи. Это вполне подтверждается возвращением металлов в прежнее, свойственное им состояние, когда их пепел (или стекло) сплавляется с углем.

Ломоносов считает, что металлы "не первородная материя", что они "произошли после первого здания, когда уже Земля отвердела, явилась суша и протчие обстоятельства, нужные к произведению мест рудных". В случае, если бы металлы были первозданными, они располагались бы "по всей тягости... ближе к земному центру, нежели, как их иные находим, нередко и на самой земной поверхности" [7, с.612].

Ломоносов указывает, что "рождение и преселение металлов должно различать между собою". Приводя случаи обрастания металлами органических остатков в старых рудниках, он видит в них примеры "преселения" их туда "каким-либо натуральным действием... Напротив того, когда рудокопы, ведая в руднике места и пустые капи и накипи (т.е. натечные образования и полосчатые крустификации) без всяких металлов, после появления серных паров по штольне, вдруг увидят светные руды, содержащие в себе свинец, медь, серебро и признаки золота; тогда справедливо заключают, что металл тут действительно родился: то есть произошел из смешения серной летучей материи с земляными или каменными частицами оных накипи" [7, с. 612]. Для нас теперь совершенно очевидно, что здесь речь идет о встрече богатых рудой участков жил (рудных столбов), а рассуждение о "преселении" металлов (мысль сама по себе безусловно правильная) относится к процессам, совершающимся в зоне окисления рудных месторождений.

Б.Н.Меншуткин в свое время писал, что химическая сторона "Слова о рождении металлов" вызывает теперь улыбку. Быть может она вызывает также и раздумье. Почему столь разно оцениваем мы теперь структурно-геологическую и химическую стороны этого произведения? В чем тут дело? Почему взгляд Ломоносова на геологические процессы - почти наши взгляды, а то, что мы называем "теорией рудообразования", не выдерживает никакой критики? Главное, конечно, заключается в том, что теории рудообразования в значительной степени строятся на достижениях химических и физических наук и их уровень определяет собой уровень рудно-генетических гипотез. Но дело не только в этом. Мало знать химию и физику, надо уметь приложить их к геологии. Обзор литературы по вопросу о генезисе руд наглядно по-

казывает, как невелик был в сущности прогресс в основных идеях, касающихся происхождения рудных месторождений в течение двух последних веков. И можем ли мы утверждать, что в настоящее время не имеется сочинений, по теоретическому уровню мало отличающихся от писаний флогистиков?

Для нас важно знать из научного наследства Ломоносова не только то, что вошло в золотой фонд науки, но и такие его сочинения, в которых он не оказался впереди своего века.

Мы должны не только восхищаться Ломоносовым, но и изучать его, в этом заключается наш долг и главная наша задача. В одной из своих записей Ломоносов как бы обращается к потомкам: "Сами свой разум употребляйте. Меня за Аристотеля, Картезия, Невтона не почитайте. Ежели вы мне их имя дадите, то знайте, что вы хлопи, а моя слава падает с вашей".

Творчество Ломоносова полно противоречий. Будучи флогистиком, он усиленно занимался количественными измерениями в своих физических и химических работах и первым открыл закон сохранения вещества и движения, по праву названный его именем.

Ломоносов пытался создать цельное научное представление о природе, исходя из атомистических принципов, и своими трудами он положил начало развитию химической атомистики, в корне отличающейся от механической атомистики XVII-XVIII вв. Атомистика Ломоносова ближе нам, чем атомистика Менделеева. Явления природы в противоположность натурфилософам Ломоносов стремился объяснить на основе изучения законов самой природы. Он стремился положить в основу рассмотрения явлений природы идею закономерности развития и движения. Это стремление особенно ярко сказалось, как мы видим, в работе "О слоях земных". Однако совершенно исключительные геологические идеи Ломоносова не получили должного развития в науке и вскоре были почти забыты. Причины этого забвения сложны и разнообразны. Геологические работы Ломоносова были опубликованы только на русском языке и остались вовсе неизвестными иностранным ученым. В России же, хотя и были ученики Ломоносова (С.Я.Румовский, С.К.Котельников), но не было прямых продолжателей. Русские ученые, увлеченные бурно развивавшимся на западе в конце XVIII в. новым точным естествознанием, оставили в тени работы Ломоносова. В 1778 г. Лавуазье опубликовал свою теорию окисления, сделавшую ненужным флогистон и старомодным все, что было на нем основано; почти одновременно выступили со своими сочинениями Роме-Делиль, Гаюи, Бюффон и Хеттон, а затем Вернер. Новая минералогия и геология заменили прежние представления, хотя во многом, как мы видели выше, Ломоносов был более прав, чем многие из названных ученых. Мыслям, которые должны были подвинуть науку далеко вперед, не суждено было проникнуть в широкие круги ученых. Отражение идей Ломоносова можно найти в сочинениях И.И.Лепехина, П.Б.Иноходцева, Н.Я.Озерецковского, Н.П.Рычкова, В.И.Севергина и др., однако геологические идеи Ломоносова по достоинству были оценены лишь в середине XIX в.

В 1865 г. была отмечена столетняя годовщина со дня смерти Ломоносова. В связи с этим появилось собрание архивных материалов, содержащих ценные исследования о жизни и научных работах Ломоносова. Большое значение для упрочнения научного наследия Ломоносова имели многолетние исследования Б.Н.Меншуткина, впервые опубликовавшего важнейшие химические работы Ломоносова, а также статьи В.И.Вернадского о его геологических работах, относящиеся к 1901-1911 гг.

В советский период "Ломоносовиана" достигла внушительных размеров: было опубликовано много отдельных статей о Ломоносове как геологе и минералоге. Геологи-

ческие сочинения М.В.Ломоносова вошли в VП том академического издания его сочинений в I934 г., затем были переизданы Госгеолтехиздатом в 1949 г. и, наконец, составили V том полного собрания его сочинений, изданного Академией наук СССР в I954 г.

Осталось добавить несколько слов о специально минералогических работах М.В.Ломоносова. Их очень мало. Это "Каталог минералов", напечатанный в I745 г. [29], "Мемуар о селитре" и "Известие о сочиняемой Российской Минералогии" (I763 г.). По нему мы можем судить о предложенных Ломоносовым методах сбора и изучения минералов, а также о грандиозном размахе его творческих замыслов вообще. К сожалению, напечатано было только обращение с призывом собирать минералы и отсылать их в музей Академии наук. Сама же работа так и осталась незаконченной и была прервана в самом начале смертью ученого в I765 г. Таким образом, научная деятельность Ломоносова началась с минералогии и кончилась ею.

На посту профессора Натурального кабинета М.В.Ломоносова сменил Иоган Готлиб Леман (рис. 5). Он родился в I700 г. в Германии и большую часть своей жизни провел в этой стране. Леман приехал в Россию только в I76I г. В I765 г. он совершил по поручению Академии наук путешествие в Старую Руссу для изучения местных соляных источников. Леман умер в I767 г., отравившись газами из лопнувшей реторты при опытах с мышьяком. Несмотря на кратковременное пребывание Лемана в России, он успел описать целый ряд минералов (крокоит и др.). В свое время имя Лемана пользовалось широкой известностью благодаря работам, написанным за границей. Очень интересно сопоставление Ломоносова и Лемана у В.И.Вернадского [2], где он противопоставляет натуралиста-эмпирика Лемана натурфилософу Ломоносову. Он определяет Лемана как человека несомненно выдающегося, точного и аккуратного наблюдателя, в своих взглядах во многом далеко опередившего своих современников. Несмотря на это, он отмечает огромное различие в характере его и Ломоносова: в работах Лемана при всей его талантливости не видно философского образования, и хотя в некоторых отношениях он идет впереди современников, другие его взгляды

Р и с. 5. И.Г.Леман (I700-I767 гг.). Гравюра. Х.Б.Гласбах (середина XVШ в.). Собр. эстампов ГПБ им. М.Е.Салтыкова-Щедрина

кажутся странными даже для того времени, например признание всемирного потока и др. Леман очень ясно сознает современное ему состояние минералогии. "Большинство минералов мы узнаем почти только по внешнему виду, хорошо, если нам известен их состав и в лучшем случае производились различные испытания при помощи химии". Следует отметить чрезвычайно стройное построение работ Лемана. Леман проявлял большой интерес к истории минералогии и правильному пониманию древних терминов. Труды Лемана многочисленны и литература о них обширна.

Из современников Ломоносова следует упомянуть еще Иоганна Георга Моделя (1711-1775). Он родился в Ротенбурге и после окончания образования работал аптекарем в разных городах Германии. В 1745 г. он был вызван императрицей Елизаветой Петровной в Петербург и был назначен аптекарем Адмиралтейского госпиталя, а затем стал директором этой аптеки и профессором химии и фармацеи. В 1756 г. он был избран почетным членом Академии наук. В 1766 г. он стал председателем Вольного экономического общества. Модель был одним из лучших аналитиков своего времени и пользовался заслуженной известностью не только в России, но и за границей и был членом многих иностранных научных обществ. В своих исследованиях он был строгим эмпириком и воздерживался от всяких гипотез. Его работы были чисто химические, но в них приводятся и данные о составе минералов. К собственно минералогическим работам можно отнести статью "Очищение соли", напечатанную в Тр. Вольн. эконом. общества, и исследование Астраханской каменной соли.

Здесь следует также упомянуть Петра Ивановича Рычкова (1712-1777), первая половина деятельности которого падает на Ломоносовское время. Родился он в Вологде, сын купца, обучался бухгалтерии и иностранным языкам. В 1730 г. вместе с отцом переехал в Петербург. В 1734 г. вместе с сенатской экспедицией отправился в Оренбургский край. С учреждением Оренбургской губернии Рычков остался служить в губернской Канцелярии и в 1743 г. был награжден за ударную службу усадьбой, которую назвал "Спасское".

В 1751 г. Рычков ездил по делам службы в С.-Петербург, и, по-видимому, к этому времени относится его знакомство с Ломоносовым и историком Миллером, с которым он находился в переписке. Еще в 1746 г. Рычков послал Ломоносову известие о медных рудах своего Спасского завода, а в 1762 г. он откликнулся на его "Известие о Российской минералогии" [4]. В том же 1762 г. вышла в свет "Топография Оренбургская" - главное сочинение Рычкова. Рычков написал Миллеру, что Ломоносов "весьма ее расхвалил и дал мне знать, что от всего Академического собрания она опробована была ... и согласились дабы ее печатать и карты вырезать из меди".

Рычков пользовался большой известностью среди петербургских ученых, и члены всех экспедиций, проезжавших через Оренбургскую губернию, посещали его Спасское (Лепехин, Паллас, Георги и др.). Лепехин в своих "Дневных записках..." [6] использует данные Рычкова для описания полезных ископаемых Оренбургской губернии. Эйлер в одном из писем говорит о ценности находки Рычкова, обнаружившего следы галмея (Galmey Stein) на южном берегу Индерского озера и в пещере на берегу р. Яик[I]. В 1770 г. после некоторого перерыва Рычков снова поступает на службу и назначается начальником соляных дел Оренбургской губернии. К этому времени относится его статья об Илецкой соли.

В 1773-1775 гг. ему пришлось пережить Пугачевское восстание, при котором погиб его старший сын. Рычков описал все виденное им, и его записки были опублико-

---

[I] В этой находке можно усомниться, так как цинк не характерен для этих мест.

ваны Пушкиным в приложении к "Истории Пугачевского бунта". В 1777 г. Рычков был назначен Главным комендантом Екатеринбургского заводского правления, но в этом году он умер. Литература о Рычкове очень обширна.

К Ломоносовскому времени относится научная деятельность Эпинуса. Франс Ульрих Теодор Эпинус (1724-1802) родился в Мекленбурге. Он окончил Ростокский университет и там же занимал должность приват-доцента. Затем занимался астрономией. В 1757 г. он был приглашен в СПБ Академию наук на должность профессора физики, где и проработал 10 лет. За это время он достиг больших успехов в своих исследованиях: ему принадлежат значительные заслуги в создании теории электрической индукции. "Эпинус... наипаче славен открытием сходства силы электрической и магнитной", - значится в словаре Евгения. Он производил опыты с турмалином, пироэлектрические свойства которого были впервые им открыты. Эти опыты описаны им в отдельном сборнике статей по турмалину, опубликованном Академией наук в 1762 г. Одновременно Эпинус состоял директором Шляхетского кадетского корпуса, а затем стал воспитателем Великого князя Павла Петровича и совсем отошел от научной работы.

В 1798 г. Эпинус вышел в отставку в чине тайного советника, уехал в Остзейские провинции и умер в Дерпте в 1802 г.

Академические экспедиции

Вторая половина XVШ в. характеризуется большим разворотом минералогических исследований, собранием обильного фактического материала, главным образом во время многочисленных экспедиций. Все это вызывалось потребностями бурно развивающейся промышленности и всего народного хозяйства в целом. Наряду с чисто описательной минералогией стала развиваться опытная. Наступал кризис теории флогистона. Конечно, он произошел не сразу, и еще долго держались в умах исследователей старые представления. Флогистона, в который слепо верили все химики, не оказалось, и даже водород не отвечал полностью тем требованиям, которые предъявляли к веществу флогистону. Оставалось вывести все вытекающие отсюда следствия и формулировать соответствующие выводы, подкрепив их данными новых химических опытов. Это было выполнено во всех отношениях превосходно одним из самых талантливых ученых конца XVШ в. - А.Лавуазье. Он повел решительную атаку против флогистона. Он писал: "Моя задача была дать в этом мемуаре развитие теории горения, опубликованной в 1777 г.; показать, что флогистон Шталя - воображаемое существо, которое он без всяких оснований принял составной частью металлов, серы, фосфора, всех летучих тел; что все явления горения и обжигания объясняются гораздо проще и легче без флогистона, чем при помощи его ... дело времени подтвердить или опровергнуть выставленные мною мнения" [10, с. 115].

Период академических экспедиций (1768-1774) относится всецело к царствованию Екатерины П. Он совпадает с первой турецкой войной. Внутри страны наблюдается ряд крестьянских движений против крепостного права, волнений в горнозаводских районах, уход калмыков в 1771 г., наконец, Пугачевское восстание (1773-1775 гг.). В 1770 г. в Россию проникла эпидемия чумы, которая еще усиливала волнение умов.

В этих нелегких условиях интенсивно развивается экспедиционная деятельность Академии наук. Ряды академиков пополняются новыми членами. В 1767 г. приезжают в Россию С.Гмелин (младший) и Паллас, в 1770 г. - Георги. Лепехин становится академиком в 1768 г. В 1769 г. произошло затмение Солнца Венерой, которое лучше всего наблюдалось в России. Это послужило поводом к созданию большой комплекс-

ной экспедиции, во главе которой был поставлен 27-летний Паллас, заслуживший уже мировую известность. Участникам экспедиции вменялось в обязанность обращать внимание на все, что могло содействовать "распространению науки и приращению натурального кабинета Академии". Фактически экспедиция делилась на 5 групп, из которых первая возглавлялась самим Палласом, вторая - Лепехиным, третья - Фальком, четвертая - С.Гмелиным и пятая - Гюльденштадтом.

Паллас обследовал Урал и Сибирь; С.Гмелин и Гюльденштат - южную часть Европейской России, включая Украину, Кавказ и Северную Персию; Георги и Фальк - Урал, Алтай, Байкал, Забайкалье; Лепехин - север Европейской России. Все пять экспедиций выехали в 1768 г., Лепехин вернулся в 1772 г., Паллас и Георги - в 1774 г. С.Гмелин погиб в плену на берегах Каспийского моря, пав жертвой враждебного настроения южных ханов в связи с турецкой войной. В том же году покончил с собой Фальк в Казани.

Теперь обратимся к более детальной характеристике ведущих деятелей экспедиций, обратив основное внимание на их минералогические работы, отнюдь не являющиеся для них главными.

Петр Симон Паллас (рис. 6) родился в 1741 г. в Берлине, сын известного хирурга. Уже в возрасте 13 лет он начал слушать лекции в Берлинской медико-хирургической академии и в возрасте 19 лет получил звание доктора медицины. В возрасте 27 лет, уже будучи известным ученым, он получил приглашение Екатерины П приехать в Россию, где он стал академиком и возглавил вышеупомянутую экспедицию. Он объездил Поволжье, Урал, Сибирь, Алтай и оз. Байкал. В результате появился труд в 3 томах, вышедший в свет на немецком и русском языках [13]. Результаты экспедиции были блестящими и обратили на себя внимание ученых натуралистов всего мира. Имя Палласа стало в ряду имен величайших геологов XVШ в. Паллас был естествоиспытателем-энциклопедистом, зоологом, ботаником, геологом, этнографом. Описание его путешествия написано в форме дневника. Его данные о полезных иско-

Р и с. 6. П.С.Паллас (1741-1811 гг.). Гравюра. И.С.Крюгер (конец XVШ в.). Собр. Эрмитажа

паемых весьма ценны. По возвращении в С.-Петербург он сделал доклад о строении горных хребтов, в котором развил самостоятельную теорию орографии Европы и Азии. Коллекции, привезенные Палласом, легли в основу Геологического музея Академии наук. С точки зрения минералогической наиболее интересна находка глыбы метеорного железа, которую Паллас считал "самородным железом" и которая стала предметом ученых спекуляций, а потом и более детального изучения. Известия о "Палласовом железе" печатались во всех странах, на всех языках, но происхождение этой глыбы оставалось неясным до 1794 г., когда чех Хладны доказал его метеорное происхождение (Вернадский). В 1793-1794 гг. Паллас совершил путешествие по Крыму, а затем поселился там на постоянное жительство. Здесь он прожил до 1811 г., когда он взял отпуск и уехал в Берлин, где и умер.

Имя Палласа пользуется всемирной славой. Кювье в своем похвальном слове ставил его выше Вернера и Соссюра. Паллас был членом многих академий и ученых обществ.

Иван Иванович Лепехин (рис. 7) родился в 1740 г. в С.-Петербурге, сын солдата. Учился в Академической гимназии. В 1762 г. был отправлен за границу, где обучался в Страсбургском университете, который окончил с дипломом доктора медицины. По возвращению в Россию, он был назначен начальником того отряда экспедиции (1768 г.), который должен был обследовать восточную и северную части Европейской России. Путь экспедиции лежал через Москву, Владимир, Симбирск, по Волге до Астрахани, по Оренбургской степи на Урал, далее через Соликамск и Сольвычегодск к Северной Двине, оттуда до Архангельска, к берегу океана и обратно через Олонецкий край в С.-Петербург. Экспедиция длилась 4 года. После раздела Польши в 1772 г. Академия наук поручает Лепехину обследовать отошедшие к России области. В 1774 г. Лепехин получил назначение директора Ботанического сада Академии наук, а в 1777 г. - директора Академической гимназии. Лепехин второй

Р и с. 7. И.И.Лепехин (1740-1802 гг.). Гравюра. А.М.Мошарский по рис. М.А.Кашенцова (начало XIX в.). Собр. Эрмитажа

после Ломоносова академик-натуралист, обладавший литературным талантом и писавший свои работы на русском языке. Им было издано собрание сочинений Ломоносова. Специальных статей по минералогии у Лепехина нет, минералогические сведения у него разбросаны по разным его мемуарам.

Иоганн Готлиб Георги (рис. 8) родился в 1729 г. в Вахгольц-Гагене, в Померании. Сделался фармацевтом, а затем для продолжения образования поехал в Упсальский университет в Швеции. Здесь он учился у знаменитого Линнея и отца минералогии Фербера. Окончил университет со степенью доктора медицины.

Р и с. 8. И.Г.Георги (1729-1802 гг.). Гравюра. Х.И.Леминг (конец XVШ в.). Собр. Эрмитажа.

В 1770 г. Георги приехал в Россию и сразу же отправился догонять "Оренбургскую" экспедицию Фалька. В Уральске экспедиция разделилась на две части (под руководством Фалька и Георги), которые следовали по разным маршрутам, встречаясь в Челябинске, Омске, Барнауле и Томске. Затем вследствие болезни Фалька Георги был прикомандирован к Палласу, которого догнал в Красноярске. В 1772 г. они прибыли в Иркутск, откуда Георги совершил самостоятельную поездку на оз. Байкал, в Даурию и Нерчинские горы. В 1773 г. Георги двинулся в обратный путь через Томск, Тобольск, Урсу, Оренбург, Уральск и Царицын в Астрахань. Отсюда он поехал через Саратов, Симбирск, Казань и Москву в С.-Петербург, куда прибыл в 1774 г., совершив путешествие почти в 40 000 верст.

В 1777 г. им было издано "Описание всех обитающих в России народов", создавшее ему громкое имя. В 1783 г. Георги был избран академиком по кафедре химии. В 1788 г. (вместе с Зуевым и Ренованцем) Георги привел в порядок коллекции Минерального кабинета Академии наук. Из числа его химических работ лишь некоторые имеют отношение к минералогии. Минералогом в настоящем смысле слова Георги не был. Обручев приводит все указания Георги на Сибирские полезные ископаемые и отмечает, что Георги после Палласа был наиболее плодовитым и трудолюбивым из всех иностранцев, приглашенных Академией наук во второй половине XVШ столетия. Литература о Георги довольно обширна.

Иоганн Петер Фальк (1727-1774) родился в Швеции, сын проповедника, получил медицинское образование в Упсальском университете, где слушал лекции Линнея, по рекомендации которого был приглашен в С.-Петербург. На его долю выпала организация так называемой "Оренбургской" экспедиции. Путешествие его началось в 1768 г. и длилось почти 6 лет. Он выехал из С.-Петербурга в Москву, проехал по Оке и Волге до Царицына. В 1770 г. посетил Астрахань, проехал через Калмыцкую степь до Яицкого городка (Уральск) и перешел в Оренбургские степи. Далее он проехал в Челябинск и через Тобольск, Ишим, Омск до Барнаула, оттуда - в Кузнецк и Томск. В 1772 г. он вернулся через Тобольск и Тюмень в Екатеринбург, осмотрел Уральские заводы и приехал в Казань. В 1773 г. Фальк спустился до Астрахани и через Куманскую степь добрался до теплых источников на р.Терек. Той же дорогой он вернулся назад и в 1774 г. прибыл снова в Казань. В числе спутников Фалька в начале путешествия был известный ему еще по Упсале аптекарь Георги (см. выше). Фальк страдал "ипохондрией", и во время приступа мрачного уныния он покончил с собой выстрелом из пистолета. Записки Фалька были изданы Георги, над обработкой которых он трудился в течение нескольких лет. Фальк был по преимуществу ботаником,и с точки зрения минералогической интересны только данные о полезных ископаемых, имеющиеся в описании его путешествия.

Самуэль Готлиб Гмелин-младший (1745-1774). Родился в Тюбингене, сын аптекаря. Приходился племянником академику Иоганну Гмелину, о котором мы говорили выше.Он защитил докторскую диссертацию в Тюбингене в 1763 г. в возрасте 19 лет. Будучи в Голландии, Гмелин познакомился с Палласом, дружеские отношения с которым он сохранил впоследствии, когда работал в России. В 1767 г. Гмелин приехал в Россию, где был назначен профессором ботаники и избран членом Академии наук. В С.-Петербурге он пробыл лишь 1 год. За это время написал и опубликовал трактат о слюде. В 1768 г. началась экспедиционная деятельность Академии, и Гмелин отправился на юг России. Проехав через Валдай (где он обследовал месторождение каменного угля), Гмелин доехал в 1769 г. до Воронежа. Отсюда он проехал по Дону до Черкасска, в Царицын и Астрахань, где провел зиму и описал 1-ю часть своего путешествия. В 1770 г. Гмелин отправился в северную Персию. Он проплыл на галиоте в Дербент, а оттуда в Баку. Из Баку проехал в Шемаху и Энзели. В 1771 г. он посетил Решт и Бальфрум, а в 1773 г. вернулся в Астрахань. Здесь он описал 2-ю и 3-ю части своего путешествия и совершил поездки в Сарепту и Куманскую степь. Летом 1773 г. Гмелин предпринял второе путешествие в Персию в сопровождении трех студентов и военной охраны в 40 человек на галиоте, вооруженном пушками. На этот раз он проплыл по Каспийскому морю до Баку, оттуда отправился с небольшим отрядом в Дербент. В январе 1774 г. при возвращении из Дербента в Кизляр Гмелин со своим спутником был взят в плен хайтыцким ханом Усмеем, который рассчитывал получить за него богатый выкуп. Переговоры затянулись, и Гмелин умер уже через 6 месяцев, не выдержав тяжелых условий плена. Спутники его были освобождены и сумели сохранить его дневники. Сочинения Гмелина были изданы Палласом. В предисловии Паллас дает краткую биографию Гмелина, в которой он отмечает его исключительную одаренность, стремительность и пылкий нрав. Наряду с прочим материалом в записках находятся сведения о Липецких железных рудах, Астраханской соли и других полезных ископаемых. Несомненно, С.Гмелин был одним из выдающихся исследователей природных ресурсов Южной России и жизнь его была яркой, несмотря на ее краткость.

Таким образом, за короткий срок с 1768 по 1774 г. экспедициями Академии наук была обследована колоссальная территория от Польской до Китайской границ и от

Белого до Каспийского морей. Наряду с развитием других наук этими экспедициями были заложены основы региональной минералогии России. Ее основоположниками вправе могут быть названы Паллас, Лепехин, Георги и С.Гмелин.

Последний период XVШ в.

Первое десятилетие последнего периода развития минералогии в XVШ в. тяготеет к предыдущему (экспедиционному) периоду. Идет еще обработка материалов и заканчивается издание путешествий. В связи с этими работами в русском обществе развивается небывалый подъем интереса к минеральным ресурсам России. С одной стороны, этот интерес выражается в огромном числе писем и целых мемуаров с описанием местных руд и минералов. С другой стороны, описания экспедиций вызвали усиленную тягу в Сибирь - не только в России, но и за границей. В результате продолжается накопление фактов, особенно по Уралу, Алтаю, Забайкалью и другим районам. Внимание направлено преимущественно на изучение руд, с одной стороны, и на поиски драгоценных и поделочных, облицовочных камней - с другой. Последнее стоит в прямой связи с роскошью придворной жизни конца XVШ столетия и строительством дворцов русских вельмож.

Эпохой в развитии русской минералогии явилось, несомненно, открытие в I773 г. в Петербурге Горного училища (ныне Горный институт). В "Докладе Сената об учреждении Горного училища при Берг-коллегии" среди специальных предметов значится минералогия в таком понимании: "Минералогия, чтобы по верным основаниям узнавать породы руд и их богатство, прочность и непрочность рудника по его положению, качество салбантов[I] и в каком роде камня или земле лежит". Здесь с предельной ясностью подчеркивается практическое знание минералогии. Практическое направление в преподавании минералогии проводилось уже первыми преподавателями училища - И.М.Ренованцем и др.

Иван Михайлович Ренованц (I744-I798) родился в Дрездене, происходил из купеческой семьи, окончил Фрейбергскую горную академию. В I772 г. Ренованц приехал в Россию и в I773 г. был зачислен обер-берг-пробирером в лабораторию при Берг-коллегии. В том же году он был привлечен к разработке учебных планов организуемого в С.-Петербурге Горного училища, а в I744 г. ему было поручено преподавание физики, маркшейдерского искусства и минералогии. Несомненно, его пребывание в Фрейберге отразилось на его педагогической деятельности.

В I779 г. Ренованц был избран членом-корреспондентом Академии наук. В том же году он был командирован на Колывано-Вознесенские заводы, а затем был директором этих заводов. Еще до отъезда на Алтай Ренованц совершил поездку на север России и посетил Медвежий остров и его серебряные рудники. В I785 г. Ренованц был вызван обратно в С.-Петербург, а в I787 г. был назначен инспектором Горного училища, в этой должности оставался до I795 г. Он возобновил также свою преподавательскую деятельность, прерванную отъездом, и продолжал ее до самой своей смерти в I798 г. Ему принадлежит заслуга постройки примерного рудника во дворе Горного училища (погиб в I923 г. во время наводнения), а также устройство учебных кабинетов и лабораторий училища. Он привел также в систему материал минералогического кабинета, значительно пополнив его собственными штуфами.

В I788 г. Ренованц опубликовал свой большой труд с описанием Алтайских рудников (на немецком языке, на русском он вышел в I792 г. в переводе Севергина), который явился результатом его 6-летнего пребывания на Алтае [II]. Книга эта

[I] Имеются в виду зальбанды. - Прим. ред.

имела большое значение в свое время, давая сводку по малоизвестному району. Она до настоящего времени не утратила своего значения. Ренованц пользовался большой известностью и уважением среди ученых и горных промышленников. Имя его было хорошо известно и за границей.

Одним из первых преподавателей минералогии в Горном училище был также Карамышев. Александр Матвеевич Карамышев (1744-1791) учился в Екатеринбургском горном училище, а затем в Московском университете. В 1758 г. был командирован для усовершенствования в науках в Швецию, где слушал лекции К.Линнея по натуральной истории и курсы химии и металлургии И.Валлериуса. В Горном училище Карамышев с 1744 по 1779 г. преподавал минералогию, химию и металлургию. Сведения о проводившихся им экспериментах сохранились лишь в виде кратких примечаний в книге У.Ф.Брикмана "Сочинение о драгоценных камнях" (1779). В частности, здесь имеется поразительное известие о том, что "обербейгермейстер Карамышев опытом при своих лекциях доказал, что из всякого непрозрачного известкового шпата можно сей удвоящий камень произвести искусством". Кроме того, Карамышев разработал рецептуру изготовления искусственных "драгоценных камней" - имитации граната, изумруда, раухтопаза. Он же "демонстрировал опыты по сжиганию трех алмазов нарочитой величины".

Товарищем Ренованца по преподаванию минералогии и ориктогнозии был воспитанник Горного училища Евграф Ильич Мечников. Время его педагогической деятельности относится к 1792-1797 гг. Позже он получил известность как крупный горнозаводский деятель. Будучи преподавателем минералогии, Мечников обращал особое внимание на приведение в порядок минералогических коллекций музея. На надписи, выгравированной на старинной доске у входа в колонный зал Горного музея, значится: "Минеральный кабинет Горного корпуса разобран и приведен в порядок по системе Вернера, кристаллография Кабинета разложена по системе Гайю под руководством Е.И.Мечникова, обер-гиттенфервальтером Соколовым, 1819 год".

В 1778 г. четыре первых выпускника Горного училища - А.Коленов, Н.Рыжешников, П.Ильман и С.Подшивалов - были направлены во Фрейберг "для усовершенствования в горных науках". Петр Федорович Ильман (1754-1818) по возвращении из Германии стал преподавателем Горного училища. Здесь в 1779-1798 гг. он читал геологию, минералогию, горное и маркшейдерское искусство, металлургию и химию. В своих курсах по минералогии Ильман пропагандировал метод Вернера.

Почти два года (1779-1781) состоял преподавателем Горного училища талантливый минералог Федор Петрович Моисеенко (Моисеенков) (1754-1781). Он родился в Лебедяни Харьковской губернии. Первоначальное образование получил в Харьковском коллегиуме. В 1766 г. перешел в Академическую гимназию, а затем - в Академический университет. Он слушал лекции Лаксмана по химии и высоко ценил его как минералога. В 1774 г. Моисеенко был командирован во Фрейбергскую горную академию, и Лаксман дал ему напутственную инструкцию. Он пробыл здесь 5 лет и путешествовал по всей Саксонии, основательно изучив местные рудники. Моисеенко был учеником Вернера, и последний дал о нем хороший отзыв. В 1776 г. Моисеенко написал на латинском языке минералогическую диссертацию о тяжелом шпате - барите [30]. Позже (1779) он опубликовал на немецком языке "Минералогическое сочинение об оловянном камне" [31]. Обе эти работы представляют интерес для истории минералогии как образцы монографий, написанных в духе описательной школы Вернера, но с оригинальными высказываниями автора. В 1779 г. Моисеенко вернулся в Петербург и был назначен адъюнктом Академии и преподавателем Горного училища. В 1781 г.

Крымский хан Шагин Гирей обратился к императрице Екатерине П с просьбой прислать искусного минералога для изучения природных богатств Крыма. Выбор пал на Моисеенко, которого рекомендовал И.Эйлер. Паллас снабдил его соответствующей детальной инструкцией. Однако Моисеенко не суждено было доехать до Крыма, он умер по дороге в Москву, не достигнув еще 27 лет от роду. Так оборвалась жизнь этого замечательного талантливого минералога.

Одной из колоритнейших фигур рассматриваемого периода является, несомненно, Лаксман. Пастор, учитель, академик, горный советник, исправник, минералогический путешественник - по профессии, он был неутомимым исследователем, экспериментатором и коллекционером.

Эрик Густавович Лаксман (1737-1796) родился в Нейшлоте в Финляндии. Детство его совпало с шведско-русской войной. Нейшлот отошел к России, и семья Лаксмана переехала в шведскую часть Финляндии. После окончания там школы он поступил в Выборгское отделение Абосского университета, но не окончил его по семейным обстоятельствам. Он взял место пастора в глухом приходе Ингерманландии, откуда большинство пасторов уехало на запад. Но уже в 1762 г. Лаксману удалось переменить специальность и переехать в С.-Петербург, устроившись воспитателем и преподавателем естественной истории во вновь открытом Евангелическо-Лютеранском училище Св. Петра (Петершуле). В С.-Петербурге Лаксман завязал прочные связи с ученым миром. Он представил в Академию список растений, собранных им в окрестностях С.-Петербурга, и был избран корреспондентом Академии наук. Однако в 1764 г. Лаксман снова поступает на должность пастора и уезжает на Колывано-Воскресенские рудники, где в то время работало много иностранцев. В Барнауле Лаксман прожил с 1764 до 1768 г., увлекаясь изучением природы Алтая. Здесь он вел обширную переписку с русскими, финскими и шведскими учеными. Постепенно его захватывает интерес к минералогии, он производил анализы минералов в лаборатории своего друга аптекаря Бранда в Барнауле. Интересно отметить, что другим его другом этого периода был знаменитый впоследствии механик Ползунов. Из Барнаула Лаксман совершил целый ряд поездок, и везде он собирал минералы. "Мои штуфы так хороши, - пишет он, - как их можно ожидать только от знатока: я брал их на месте, имея маршейдеркарты всех заводов, и могут указать слой" [27]. Вероятно, это было одно из первых минералогических картирований, обязательных в наше время. В течение этих лет Лаксман посетил Ирбинский рудник (где нашел слой каменного угля), селитряные пещеры у Бийска, Колыванский и Змеиногорский рудники, Усть-Каменогорск и Иркутск. Он объездил оз.Байкал, побывал в Селенгинске, на оз. Косогол, в Култуке, Кяхте и Нерчинске. В 1769 г. Лаксман покинул Барнаул и приехал снова в С.-Петербург. В том же году его избирают членом Шведской академии наук. В это же время Лаксман задумал издать сборник своих работ по Сибири под заглавием "Sibirische Nebenstunden", где имелась и минералогическая часть. В настоящее время не сохранилось ни одного экземпляра этой книги. Существует предположение, что Лаксман сам изъял этот труд, ввиду почти одновременного опубликования в Гёттингене его писем из Сибири, собранных Шлецером и изданных без ведома их автора [28].

В 1770 г. Лаксман был единогласно избран ординарным академиком и назначен профессором экономии и химии. Ему была поручена химическая лаборатория Академии. В 1775 г. вышла в свет первая минералогическая работа Лаксмана "О серебряной роговой руде" [24]. В последующие 5 лет в писательской деятельности Лаксмана наступает перерыв. Он занимался педагогической деятельностью в Академической

гимназии, Сухопутном кадетском корпусе и в Институте для благородных девиц. Он читал также популярные лекции по минералогии и химии, сопровождая их демонстрациями опытов. Он отдавал много времени устройству своего личного минералогического кабинета. Впоследствии (в 1786 г.) коллекции Лаксмана были куплены при содействии Соймонова Горным корпусом за 6000 р. и присоединены к коллекциям Музеума. В этот период слава Лаксмана стояла в зените. Он пользовался широкой известностью не только в России и Швеции, но и в других странах.

В 1781 г.Лаксман избирается почетным членом Академии наук.Однако в том же году он снова покидает С.-Петербург,получив назначение помощника начальника Нерчинских горных заводов.Отъезд его не был вполне добровольным - причиной явилась размолвка с директором Академии наук Домашневым,который обиделся на резкую выходку Лаксмана. Отныне он уже значится не "академиком" или "профессором", а "горным советником". Пребывание в Нерчинске снова открыло широкие возможности его натуре исследователя и коллекционера. Письма этого периода полны известиями о различных ценных находках и отправки образцов. Он нашел аквамарин и берилл на р.Аргуни и Ононе, сурьмяный блеск, свинцовую и медную руду близ Нерчинска. Он предложил использовать в процессе плавки стекла глауберовую соль оз. Чаганнор. Его достижения были описаны Доронинским комендантом Власовым в его письме к Палласу. Но сама должность пом.начальника Нерчинских заводов была не по душе Лаксману. Ему приписывается резкая критика состояния заводов, опубликованная Палласом без подписи автора (возможно, потому, что Лаксман находился в это время в "немилости"). Лаксман прослужил здесь только один год, после чего он был отрешен от должности по распоряжению Сената. Возможно, ему было поставлено в вину расходование денег на нужды, которые он считал первоочередными, в разрез с взглядами начальства [5].

В течение следующего 1782 г. Лаксман занимал, по-видимому, какую-то должность при солеварне в Чиндал-Туруке, на границе пустыни Гоби, а в 1783 г. получил место исправника в г.Нерчинске. Жизненные неудачи не сломили, однако, его духа, и в последние годы жизни он вспоминает об этом периоде как об "укромной пустыне, где я, при разных беспокойствах, провожал иногда приятнейшие часы и где я научился познать цену уединенной жизни", и прежней осталась его страсть к исследованию природы. Его письмо о замерзании ртути вызвало большую сенсацию и послужило поводом к повторным опытам Эйлера, Крафта и Ловица в Академии наук. По ходатайству петербургских друзей Лаксман получает в 1784 г. место "минералогического путешественника" при Императорском кабинете, имевшем надзор над всем горным делом России. Из Нерчинска Лаксман переселился в Иркутск, который стал его постоянным местом жительства до самой смерти, не считая множества совершенных им отсюда путешествий. Лаксман совершил несколько поездок на южный берег оз.Байкал, в Култук и здесь на р.Слюдянке нашел слюду (флогопит), а также "lapis lazuli" (лазурит). Высланные им образцы лазурита велено было хранить при Императорском кабинете и ему было ассигновано 3000 р. на производство дальнейших работ. Он добыл 20 пудов этого редкого минерала, которые были посланы в С.-Петербург с серебряным караваном и пошли на облицовку лазурной комнаты Царскосельского дворца. Култукские минералы вызвали большой интерес среди минералогов, особенно большой штуф белоснежного лучистого тремолита, присланный Палласу и исследованный Ловицем, а также 15-фунтовый темно-зеленый диопсид из Слюдянки, названный Ренованцем "байкалитом". Что касается "lapis lazuli", то определение этого "синего камня" послужило предметом целой дискуссии, получившей окончательное разрешение только через 100 лет в статье Норденшельда.

В первые годы жизни в Иркутске Лаксман закончил свои галургические исследования и ввел свой новый способ плавки стекла на собственном заводе в Талцинске (основанном совместно с купцом Барановым, известным впоследствии своими торговыми делами с Америкой). Этот способ описан им в статье "О введении в употребление щелочной ископаемой соли" и внес целый переворот в стекольное дело и впоследствии перешел в практику не только русских, но и австрийских и богемских заводов.

Письма последующих лет полны известий о посещениях новых мест и новых находках минералов. С верховий Вилюя он привез образцы "гиацинтов и гранатов". Более подробное описание привезенных им минералов дал Паллас, анализы их сделал Ловиц.

Последние годы жизни Лаксман был занят всецело посольством своего сына Адама в Японию. Его влекло издавна к берегам Тихого океана. В 1791 г. Лаксман подал проект имп.Екатерине П,в котором предложил снарядить посольство, которое под предлогом возвращения на родину спасенных японских моряков должно было вести переговоры о торговых связях с Японией.Проект был одобрен,и Эрик Лаксман проводил сына в Охотск. В 1793 г. участники японской экспедиции вернулись в Иркутск, и в 1794 г. оба Лаксмана уезжают в С.-Петербург,где встретили радушный прием. Живя в С.-Петербурге, Лаксман написал свой трактат "О селитре" [12], последнюю вещь, опубликованную при его жизни. Он разработал также планы новых путешествий, осуществить их ему не удалось. В конце 1795 г. Лаксманы двинулись в обратный путь, и по дороге 5 января 1796 г. Эрик Лаксман внезапно умер на маленькой почтовой станции недалеко от Тобольска. Минералогическая коллекция Лаксмана, собранная им в Иркутске, была приобретена после его смерти местным городским училищем за 3500 р., а его архив целиком сгорел при пожаре. Последним письмом, написанным рукой Лаксмана, является его ответ королевскому библиотекарю Иервелю в Стокгольме, который просил его прислать свою автобиографию. Лаксман пишет: "Я жил весьма скромно и уединенно... Величайшая заслуга моя состоит в том, что я писал весьма мало, никогда не имел покровителей, никогда не просил ничего для себя, имею несколько благородных друзей и порядочную толпу завистников...". Горькое признание. Хотя Лаксман и печатал мало (Георги называет его "ленивым писателем"), но число его писем огромно. Главную заслугу Лаксмана Лагус видит в его "обширной и бескорыстной собирательской деятельности". Лаксман сам говорил про себя, что он "до дурачества и до мученичества влюблен в камни". Путешествуя непрерывно, он собирал огромное количество произведений минерального царства, причем щедро делился своими находками с учеными-друзьями.

В какой-то мере близко к деятельности Лаксмана стоит деятельность француза Патрэна.

Евгений Людовик Мельхиор Патрэн (1742-1815) родился близ Лиона. По образованию он был юристом, но увлекся путешествиями. Он объездил Германию, Австрию, Богемию, Венгрию и Польшу. В Вене он получил рекомендацию к Палласу и поехал в Россию. В 1779 г. Патрэн был избран членом-корреспондентом Академии наук и отправился через Урал в Сибирь. Он провел 8 лет на Алтае и в Даурии, живя сначала в Колывани, потом - в Барнауле и совершая отсюда свои поездки. В Колывани Патрэн получил звание шихтмейстера. Он собирал минералы и растения и в письмах к Палласу описывал свои путешествия. Письма Патрэна были напечатаны, Екатерина П назначила Патрэна в экспедицию Билингса, отправлявшегося на Колыму и к Берингову проливу. Паллас составил инструкцию для Патрэна, но последний не захотел принять участие в этой экспедиции, здоровье его было расшатано, и он ре-

шил вернуться на родину. В 1787 г. Патрэн приехал во Францию с богатейшими коллекциями, главным образом, минералов (свыше 2000 образцов), которую он представил на суд французских минералогов. Отзыв об этой коллекции, извлеченный из отчета, представленного Парижскому обществу естествоиспытателей, был опубликован самим Патрэном в 1791 г. [32].

Во время Французской революции Патрэн был избран членом Конвента от г.Лиона и голосовал за ссылку Людовика XVI. Потом он некоторое время сам находился в ссылке. Затем Совет благоденствия назначил его начальником Ст.-Этленской мануфактуры, но на этой должности он пробыл недолго. С самого основания горного училища (Ecole des Mines) в Париже Патрэн состоял здесь библиотекарем,и на этом посту он оставался до выхода в отставку в 1815 г. Он умер в Сан-Валлиере (около Лиона) в том же году. Патрэн оставил много печатных трудов.

К описываемому периоду относится деятельность замечательного химика-аналитика минералов Ловица, незаслуженно забытого в науке.

Иоганн Товий Ловиц (1757-1804) родился в Гёттингене, был сыном математика-астронома Морица Ловица. Его отец в 1767 г. был приглашен на службу в С.-Петербургскую Академию наук, и вся семья переехала в Россию. В 1769 г. Ловиц был поставлен во главе экспедиции, отправлявшейся к берегам Каспийского моря. Он взял с собой 13-летнего сына Товия. Это было время Пугачевского восстания, экспедиция со своими незнакомыми приборами возбудила подозрение и была взята в плен повстанцами. Мориц Ловиц был повешен Пугачевым ("поближе к солнцу" - как пояснил последний, см. у А.С.Пушкина в его "Истории Пугачева"). Товий был свидетелем гибели своего отца, но адъюнкту Иноходцеву удалось бежать и спасти мальчика, которого он благополучно доставил в С.-Петербург. Опекуном Товия Ловица был назначен Гюльденштедт и мальчик был помещен на "казенный кошт" в Академическую гимназию. Все биографы Ловица отмечают, что тяжелые переживания юных лет пагубно отразились на его впечатлительной натуре, и, болезненный от природы, Ловиц на всю жизнь остался замкнутым и меланхоличным. По окончании гимназии в 1776 г. Ловиц поступил учеником в Главную аптеку. Заинтересовавшись работой в аптеке, он решил продолжить свое образование и поступил в 1780 г. в Гёттингенский университет, где обучался медицине, фармации и химии. В 1784 г., по окончании университета, Ловиц пожелал вернуться в Главную аптеку, где он работал сначала лаборантом, затем провизором, аптекарем и, наконец, "придворным аптекарем", читая одновременно курс химии и фармации студентам в госпиталях. В 1785 г. Ловиц открыл способность угля адсорбировать растворенные вещества и предложил использовать его в качестве противогнилостного средства против порчи воды для мореплавателей. Это открытие явилось поводом избрать Ловица членом-корреспондентом Академии наук и членом Вольного экономического общества. Последнее наградило его большой золотой медалью за эту работу.

В 1790 г. Ловиц был избран адъюнктом, а в 1793 г. - ординарным профессором химии Академии наук. После ухода Лаксмана кафедра химии находилась в довольно запущенном состоянии, лаборатория пострадала при наводнении.Поэтому Ловиц продолжал свою работу в Главной аптеке, где по тому времени была лучшая химическая лаборатория. "Физическая химия, задуманная Ломоносовым, первым русским химиком,нашла в конце XVШ в. в лице Ловица великого представителя-экспериментатора",- говорит Вальден (1919 г.). Ловиц пользовался кристаллизацией для очистки солей. Его чрезвычайно привлекали процессы кристаллизации и т.п. Очень велики заслуги Ловица как аналитика русских минералов; 10 статей его посвящены описа-

нию и анализам минералов, найденных Лаксманом (байкалит, тремолит, гиацинт, цеолиты и т.д.). Две статьи касаются открытия им хрома в уральских рудах, образцы которых были переданы ему Мусиным-Пушкиным. Ловицу принадлежит открытие стронция в барите и витерите. Кроме того, он исследовал образцы Германа (уголь, янтарь, ашарит, витерит). В 1800 г. он был избран членом Медицинской коллегии. Он умер в 1804 г., и в некрологе его сообщалось, что он был человеком исключительно тихим и скромным, находившим радость только в своих занятиях химией.

Севергин и его время

Ломоносовым начинается, Севергиным заканчивается первый период в истории русской минералогии. Севергин стоит на границе двух веков - корни его научной деятельности крепко вросли в XVШ в., в то же самое время он - родоначальник русской описательной минералогии XIX столетия. Избрание Севергина, за несколько лет до смерти, почетным членом Московского общества любителей природы и Всероссийского минералогического общества как бы символизирует эту связь его с новым веком. Химия в его время, освобожденная от цепей флогистики, идет гигантскими шагами вперед. Вместе с тем в геологии получает большое развитие теория нептунизма Абрама Готлиба Вернера. Его "Begrun dors der Geologie" становится настольной книгой. Он создает свою школу и привлекает многочисленных учеников и сторонников, в частности, в России, как об этом указывалось выше. Система минералов Вернера является значительным шагом вперед по сравнению с прежними представлениями, но упор делается на описание внешних признаков в ущерб химизму. Конечно, требования практики заставляют усовершенствовать приборный анализ и другие разделы прикладной минералогии, но все это уже не считается чистой наукой. Севергин счастливо избежал этого уклона в сторону чистого описания, так как он был в то же время и химик.

Часто впадают в заблуждение, отождествляя понятие "описательной минералогии" с чисто качественным неточным описанием минералов одним лишь внешним признаком, избегая измерений. Это глубокое заблуждение, такого вида минералогия давно отмерла,и в настоящее время описательная минералогия такая же точная наука, как и прочие. В этом отношении можно сказать, что Севергин стоял у ее истоков в России, и вся его деятельность была направлена на широкое распространение минералогических знаний среди обширного круга русских горных инженеров. Вплоть до конца XVШ в. большинство сочинений по минералогии было написано на иностранных языках, даже те, которые специально касались России. Таким образом, одной из первых задач Севергина было создание русской химической и минералогической терминологии, которое он осуществил при составлении многочисленных словарей. Важнейшие достижения Севергина мы находим в обобщающих трудах, охватывающих либо все минеральное царство, либо специально русскую минералогию: "Первые основания минералогии", 1798 [16], "Словарь минералогический", 1807 [21], "Опыт минералогического землеописания Российского Государства", 1809 [22], "Новая система минералогии, основанная на наружных отличительных признаках", 1816. Многие введенные этим ученым термины прочно укоренились в минералогической и химической литературе. Он впервые сформулировал понятие о минеральном парагенезисе - "смежности"(1798), позже вновь введенном немецким минералогом И.А.Брейтгауптом. Севергин - автор ряда работ по химической технологии: "О добывании минеральных щелочных солей", 1796 [15], "О пробирном искусстве", 1801 [32], "Производство селитры", 1812 [23] и т.п.

Василий Михайлович Севергин (рис. 9), сын музыканта, вольного человека. В раннем детстве выучился дома грамоте и трем иностранным языкам. II лет (в I776 г.) поступил в Академическую гимназию, директором которой в то время был Лепехин. По окончании гимназии Севергин (в I784 г.) был зачислен студентом, а в I785 г. - командирован от Академии для дальнейшего обучения в Гёттингенский университет. Здесь Севергин учился три года. Химию он проходил под руководством известного профессора Гмелина, который неоднократно извещал Академию о блестящих успехах своего ученика.

Р и с. 9. В.М.Севергин (I765-I826 гг.). Гравюра. Неизвестный русский мастер (начало XIX в.). Собр. эстампов ГПБ им. М.Е.Салтыкова-Щедрина

В I789 г. Севергин вернулся на родину и был подвергнут испытаниям при Академии наук, после которых профессора Паллас, Георги, Крафт и Лепехин дали заключение о том, что за границей Севергин "употребил свое время с пользой и обнаруживает не токмо основательные сведения, но и положительное призвание к ученым занятиям и исследованиям" [24].

В том же году Севергин представил в академическую конференцию свои первые рукописи: минералогический трактат о природе и происхождении базальта и химический трактат о природе щелочных солей. На основании этих трудов и отзыва академических профессоров он в том же году был произведен в адъюнкты кафедры минералогии Академии наук, а затем, в I793 г., в результате успеха публичных лекций по минералогии - в профессора этой же кафедры. На кафедре химии он был непосредственным преемником Ловица. Вся жизнь Севергина была связана с Академией наук -

13 лет он провел в качестве гимназиста и студента и 37 лет - в качестве адъюнкта и профессора. Много сил отдал Севергин издательской деятельности Академии наук. Ему принадлежит огромное количество статей, переводов, заметок и литературных обзоров, напечатанных в "Новых ежемесячных сочинениях", "Умозрительных исследованиях" и "Технологическом журнале", бессменным редактором которого он состоял с самого его основания в 1804 г. и до своей смерти. Им разработан также план издания "Ученых известий" при "Академических ведомостях". Больших усилий стоило приведение в порядок минералогического кабинета Академии наук, пришедшего к концу XVШ в. в полное запустение.

С 1791 г. Севергин был членом Вольного экономического общества. Дважды (в 1801 и в 1815 гг.) он приводил в порядок минералогическую коллекцию общества, за что был награжден золотой медалью. Он также занимался исследованием руд, посылаемых в Вольное экономическое общество со всех концов России.

С 1791 г. Севергин читал лекции по химии и минералогии в Медико-хирургической академии, которые были изданы им в переработанном виде в 1800 г. под названием "Способ испытывать чистоту и неподложность химических произведений лекарственных" [18]. Медицинской коллегией издано также его "Руководство к испытанию минеральных вод" [17] и несколько других трудов. За свои заслуги в области медицинской химии Севергин был избран членом Медицинской коллегии в 1807 г. и членом Медико-хирургической академии в 1811 г.

С 1791 по 1804 г. Севергин читал лекции в Горном училище.

С 1792 г. он состоял "приобщником" Российской академии, а в 1798 г. был избран ее членом и оставался им в течение более тридцати лет. Севергин жил почти безвыездно в С.-Петербурге, но в начале XIX в. он совершил несколько поездок по Европейской России в связи со специальными заданиями, ему порученными. Академические путешествия второй половины XVШ в. отошли уже в область преданий, но память о них была еще свежа, и поэтому Севергин, оставаясь верным традициям, счел нужным описать свои поездки.

В 1802 г. он ездил в местечко Семятич Белостоцкой области для осмотра минерального кабинета кн. Яблонской, купленного императором Александром I. В 1803 г. в Новгородскую и Псковскую губернии в качестве "видитатора" для осмотра местных губернских школ и в Виленскую и Могилевскую губернии для той же цели. Последняя поездка послужила поводом к избранию его членом Виленского университета в 1803 г. Обе поездки описаны им в "Записках путешествия по заладным провинциям" [19].

В 1804 г. Севергин был командирован Академией для "минералогического обозрения" части Финляндии, отошедшей к России. На основании его записок было составлено "Обозрение Российской Финляндии" [20], опубликованное в 1805 г. Наконец, в 1808 г. Серегин по поручению Академии ездил в Эстляндию для "испытания дымящейся горы",которую он признал подземным пожаром горючих сланцев, а в 1809 г. - в Тверскую губернию для исследования местных минеральных вод.

Севергин прожил долгую жизнь, научная карьера его началась еще при Екатерине П, но центр тяжести ее падает на царствование Александра I. Последнему он посвятил несколько своих трудов. Александр I ценил, по-видимому, Севергина и награждал его неоднократно различными знаками отличия.

Жизнь Севергина небогата внешними событиями, но чрезвычайно насыщена научной и научно-организационной работой. Имя его пользовалось широкой известностью не только в России, но и за границей. Он был членом 18 научных обществ, русских и иностранных (Гёттингенского ученого общества с 1795 г.,Общества земледелия в

Лондоне в 1798 г., Минералогического общества в Иене с 1799 г., Стокгольмской академии наук с 1801 г. и др.). Как уже указывалось, он был одним из основателей Всероссийского минералогического общества в 1877 г., состоял членом Московского общества испытателей природы с момента его основания в 1805 г., с 1819 г. - почетным членом Московского университета.

Литература

1. Бетехтин А.Г., Годлевский М.Н. Ломоносов и наука о рудных месторождениях // Геология руд. месторождений. 1961. № 6. С.102-106.
2. Вернадский В.И. О значении трудов М.В.Ломоносова в минералогии и геологии // Ломоносовский сборник. М.: Общ-во любителей естествознания, антропологии и этнографии. 1901. С. 1-4.
3. Годлевский М.Н. Ломоносов как минералог // ЗВМО. 1940. Т. 69, вып. 4. С. 447-457.
4. Известие о сочиняемой Российской минералогии (1763 г.)// М.В.Ломоносов. Собр. соч. Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 5.
5. Лагус В. Эрик Лаксман: Его жизнь, путешествие, исследования и переписка. Спб, 1890.
6. Лепехин И. Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства // Полн. собр. учен. путешествий по России. СПб.: Изд. Имп. АН, 1822.
7. Ломоносов М.В. Слово о рождении металлов от трясения Земли (1757 г.) // М.В.Ломоносов. Собр. соч. Л.: Изд-во АН СССР, 1954, Т. 5.
8. О слоях земных (1763 г.) // М.В.Ломоносов. Собр. соч. Л.:Изд-во АН СССР,1954. Т. 5.
9. Меншуткин Б.Н. Труды М.В.Ломоносова по физике и химии. Л.: Изд-во АН СССР, 1936. С. 37.
10. Меншуткин Б.Н. Химия и пути ее развития. М.;Л., 1937. С. 115.
11. Минералогические, географические и другие смешанные известия об Алтайских горах, принадлежащих к российскому владению, изданные И.М.Ренованцем, с немецкого на российский с приложением некоторых примечаний перевел Василий Севергин. СПб., 1792.
12. О введении в употребление щелочной ископаемой соли на стеклоплавильных заводах вместо поташа // Нов. прод. тр. Вольн. экон. о-ва. СПб., 1795-1798. Т. 3. С. 240-251.
13. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российской империи. СПб., 1773-1788.
14. Слово похвальное Михаилу Васильевичу Ломоносову, читанное в Императорской Российской академии в годовом торжественном ея собрании 1805 г. членом оныя Васильем Севергиным. 1805. 56 с. - Цит. по: Сухомлинов М.И. Очерк жизни и деятельности акад. В.М.Севергина // История Российской академии. СПб., 1878. Т. 4.
15. Севергин В.М. Ответ на задачу о доставлении чистой щелочной минеральной соли в России // Нов. прод. тр. Вольн. экон. о-ва. СПб., 1796.
16. Севергин В.М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. СПб., 1798.
17. Севергин В.М. Способ испытывать минеральные воды, сочиненный по новейшим о сем предмете наблюдениям. СПб.: Изд. мед. коллегии, 1800.
18. Севергин В.М. Способ испытывать чистоту и неподложность химических произведений лекарственных. СПб.: Изд. Мед. коллегии, 1800.
19. Севергин В.М. Записки путешествия по Западным провинциям Российского государства или минералогические, хозяйственные и другие примечания, учиненные во время проезда через оные в 1802 г. СПб., 1803.
20. Севергин В.М. Образование Российской Финляндии или минералогические и другие примечания, учиненные во время путешествия по оной в 1804 г. академиком Василием Севергиным. СПб., 1805.
21. Севергин В.М. Подробный словарь минералогический, содержащий в себе подробное изъяснение всех в минералогии употребительных слов и названий, а также все в науке сей учтенные главнейшие открытия. СПб.: Изд-во АН, 1807.

22. Севергин В.М. Опыт минералогического землеописания Российского государства. СПб., 1809. Ч. I/2.

23. Севергин В.М. Наставления о лучших способах добывать, изготовлять и очищать селитру в России, опытами и свидетельствами доказаны. В двух ответах на задачу Вольного экономического общества, по Высочайшему повелению поставленную. СПб., 1812.

24. Сухомлинов М.И. Очерк о жизни и деятельности акад. В.М.Севергина // История Российской академии. СПб., 1819. Т. 4.

25. Теряев А. История минералогии или краткое изображение основания, приращения и усовершенствования оной науки, особливо в последнее двадцатилетие с присовокуплением новейших систем по всем частям всеобщей минералогии. СПб., 1819.

26. Berg E. Repertorium der Literatur über die Mineralogie, Geologie, Paleontologie Berg- und Hüttenkunde Russland, bis zum Schluß des XVIII Jahrhunderts / Bearb. E. von Berg. St. Petersburg, 1862. Bd. 20. 227 S.

27. Laksmann M. Sibiriche Briebe / Herausgegeben von Schlözer.St. Petersburg, 1769.

28. Lomonosov M. Musei Imperialis Petropolitani. Petropoli, 1745. Vol. 1: pars tertia, qua contineivtur res naturalis ex regno minerali.

29. Moiseijenko F.P. De Spatio ponderoso. 1776 (Архив АН СССР. Л.,1955. С.49-77. - Пер. с лат. яз. А.В.Немиловой).

30. Moiseijenko F.P. Mineralogische Abhandlung von dem Zinnstein. Leipzig, 1779.

31. Patrain E. Notice mineralogique de la Daurie. P., 1791. Vol. 38. P. 225-245.

32. Severgin V.M. Exposition de quelques experiences docimastiques faifes sur les mines de cuerze // Nova acta Acad. sci. 1806. Vol. XV: (1802).

УДК 549.6

Д.И.Белаковский, В.Ю.Карпенко, А.В.Мохов

ДВУПРЕЛОМЛЯЮЩИЙ АНАЛЬЦИМ ИЗ КАМЕРНЫХ ПЕГМАТИТОВ ВОЛЫНИ

Широко распространен и неоднократно изучался анальцим из пегматитов щелочных пород, где его образование связано с процессами позднего гидротермального замещения. В гранитных пегматитах этот минерал не отмечался. Нами анальцим найден в камерных пегматитах Волыни. Среди гидротермальной минерализации этих пегматитов известен натролит, а также цеолит, близкий по свойствам к стильбиту [4].

Анальцим обнаружен здесь в пустотах округлых и вытянутых сечений в крупном обломке частично альбитизированного кристалла ортоклаза из блоковой зоны пегматита. Происхождение пустот, вероятно, связано с выщелачиванием из полевого шпата крупных индивидов кварца. Размеры пустот 0,5-5 см. Альбитизация монокристалла ортоклаза наиболее сильно проявлена около стенок пустот, которые инкрустированы щетками мелких кристаллов альбита размером до 0,2-0,3 мм. На отдельных участках щеток - мелкие зерна сидерита. На такой подложке расположены бесцветные прозрачные кристаллы анальцима тетрагонтриоктаэдрического габитуса. В ряде участков кристаллы срастаются в щетки с индукционными поверхностями между индивидами. На отдельных кристаллах расположены сферолиты гематита. Размер кристаллов анальцима 0,05-0,5 см, сферолитов гематита 0,05-0,1 см. Диагностика всех минералов подтверждена рентгенографически.

Значительная часть кристаллов анальцима содержит многочисленные зеленые включения, которые темнеют при их извлечении из кристалла-хозяина. На дебаеграмме зафиксированы немногочисленные рефлексы (0,71 нм и др.), характерные для слоистых силикатов. В составе минерала, определенном на электронном микроскопе с помощью энергодисперсионной приставки Kevex-5100, помимо кремния и алюминия, присут-

ствует только железо (аналитик А.В.Мохов, ИГЕМ). Почернение минерала на воздухе, видимо, связано с окислением железа. По свойствам он может быть предварительно диагностирован как гриналит $Fe_3^{2+}(OH)_2[Si_2O_5]$

Анальцим в иммерсионном препарате отчетливо анизотропен, наблюдаются сдвойникованные зерна, полисинтетические двойники. Коноскопические фигуры показывают наличие зерен с одноосными отрицательными и двуосными положительными фигурами. Показатели преломления $n_g = 1{,}484 \pm 0{,}002$, $n_p = 1{,}482 \pm 0{,}002$. Химический состав анальцима был проанализирован на зондовом микроанализаторе. Результаты приведены в табл. I.

Таблица I

Химический состав (в мас. %) анальцима из Волыни

Компоненты	I	2	3
SiO_2	60,99	6I,28	62,59
Al_2O_3	2I,66	2I,76	2I,85
CaO	0,0I	0,0I	0,0I
Na_2O^*	I0,93	I0,74	II,67
K_2O	0,0I	0,00	0,02
Сумма	93,60	93,79	96,I3

*Дефицит Na – за счет выноса его при облучении электронным пучком.

Примечание. I-3 - номера проанализированных участков. Условия съемки: рентгеновский микроанализатор "Camebax", ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 20 нА; все элементы определялись по K_α-излучению. Эталоны: Na-жадеит; K, Al - ортоклаз; Si, Ca - голубой диопсид. Аналитик О.Л.Георгиевская, ИМГРЭ.

Рентгенограммы анальцима из Волыни, выполненные на дифрактометре, представлены в табл. 2. Все рефлексы индицируются в кубической ячейке с параметром a = I,3202 нм. При этом ряд достаточно сильных рефлексов - 0,3202 нм (II4), 0,2697 нм (43I) и др. - противоречит пространственной группе Ia3d, приводимой для минерала в справочниках. По данным Кумбса [5], эти рефлексы наблюдаются и в анальциме из базальтов района Флиндерс в Австралии. Отклонений от кубической метрики в явном виде нет. Слабая линия 0,64I нм принадлежит, по-видимому, примеси.

Таблица 2

Рентгенограммы анальцима

hkl	I		2		3		4	
	I	d/n,нм	I	d/n,нм	I	d/n,нм	I	d/n, нм
200					2	0,688	I	0,687
	I0	0,64I						
II2	90	0,565	I00	0,598	8	0,56I	8	0,560
220	30	0,487	50	0,485	4ш	0,485	4	0,486
3I2	I0	0,368	40	0,366	3ш	0,365-0,367	2	0,367
400	I00	0,344	I00	0,343	I0	0,343	I0	0,343

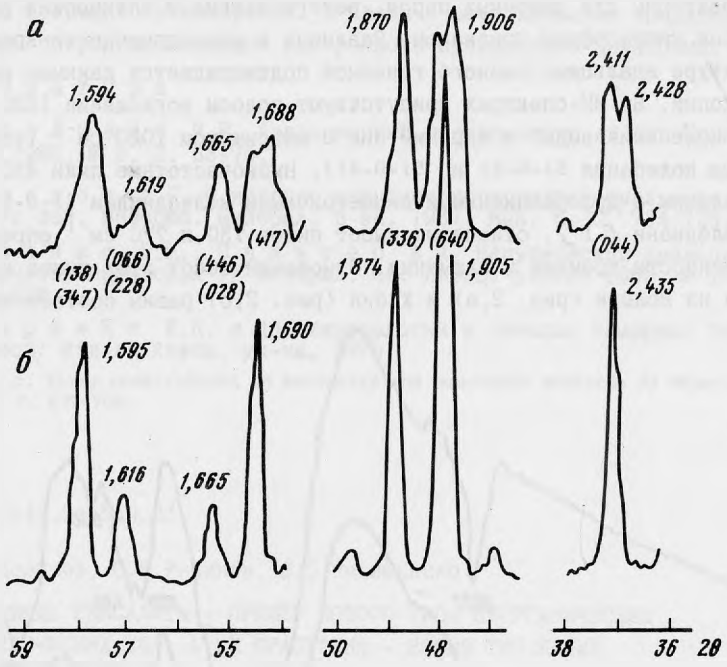
Таблица 2(окончание)

hkl	1		2		3		4	
	I	d/n, нм	I	d/n, нм	I	d/n, нм	I	d/n, нм
(4II)	I0	0,325	20	0,324	I	0,324		
	40	0,320	20	0,32I				
			30	0,3I9				
420			20	0,308	2	0,308		
					I	0,306		
332	90	0,2932	I00	0,29I3	7	0,2929	8	0,2925
					3	0,2896		
224	30	0,2808	20	0,2797	2	0,2804	2	0,280I
					I	0,2779		
(43I)	70	0,2697	40	0,2696	4	0,2696	5	0,2693
512	60	0,25I3	50	0,2504	5	0,2506	5	0,2505
440	50	0,2435	20	0,2428	2	0,2434	3	0,2426
			20	0,24II	2	0,24I2		
(433)					Iш	0,2360		
600			20	0,2290	I	0,2290		
532	60	0,223I	30	0,2227	3ш	0,22I7-0,2229	4	0,2226
620	I0	0,2I74	I0	0,2I69	I	0,2I70	I	0,2I68
(54I)	5	0,2I2I	I0	0,2I24	I	0,2I25	I	0,2II5
			5	0,2I08	I	0,2I00		
316	I0	0,2024	I0	0,20I8	2ш	0,20I5	I	0,2022
			5	0,I952				
(543)	I0	0,I942	5	0,I944	Iш	0,I940	I	0,I940
640	60	0,I905	30	0,I906	3	0,I906	5	0,I903
			30	0,I895	3	0,I892		
336	50	0,I874	30	0,I870	4ш	0,I869	4	0,I867
624	5	0,I836					I	0,I833
723, I56	80	0,I744	40	0,I740	5ш	0,I744-0,I734	6	0,I743
800	30	0,I7I7	20	0,I7I3	4	0,I7I3	3	0,I7I6
(74I)	40	0,I690	20	0,I688	2	0,I692	4	0,I689
					2	0,I679		
820	I0	0,I665	20	0,I665	2	0,I663	I	0,I664
860	I0	0,I6I6	20	0,I6I9	2	0,I62I	2	0,I6I8
(83I), (743)	40	0,I595	I0	0,I594	2ш	0,I596-0,I585	3	0,I596
824	20	0,I497	I0	0,I498	I	0,I500	2	0,I498
I92, 566	20	0,I479	20	0,I479	2	0,I480	2	0,I480
664	5	0,I462					I	0,I463
(85I), (754)	I0	0,I446	I0	0,I449	I	0,I449	I	0,I447
932, 736	60	0,I4I6	20	0,I4I6	3ш	0,I4I6	4	0,I4I5

Примечание. I - анальцим из камерного пегматита, Волынь. Условия съемки: ДРОН-2,0, анод Cu, фильтр - Ni, скорость съемки I° в минуту. Аналитик Д.И.Белаковский; 2 - анальцим из щелочного пегматита, Хибины. Условия съемки аналогичны на рентгенограмме I; 3 - анальцим из Лавен, Норвегия [5]; 4 - анальцим из Флиндерс, Австралия [5]. Значения индексов hkl, не удовлетворяющие условию 2h+l=4n, указаны в скобках.

В то же время в ряде источников описан анальцим, расщепление рефлексов 332, 440, 640 на рентгенограммах которого свидетельствует об искажении кубической ячейки. Это наиболее характерно для анальцима из пегматитов щелочных пород (например, район Лавен в Норвегии [5], Приазовье [3] и др.). В [2] приводятся данные о находке некубического гидротермального анальцима в эффузивах Карадага.

Полученная нами рентгенограмма образца анальцима из центральной зоны пегматита, залегающего в хибинитах горы Айкуайвенчорр (Хибины) очень сходна с рентгенограммой анальцима из Лавен [5] (см. табл. 2). На ней (рис. I,а) видно расщепление пиков, соответствующих отражениям 440 и 640. На дифрактограмме образца из Волыни (рис. I,б) эти пики симметричны и расщеплений не содержат. Профиль дифрактограммы хибинского анальцима отличается, кроме того, расширением и большей асимметричностью ряда других пиков.



Р и с. I. Фрагменты дифрактограмм

а - анальцима из щелочного пегматита горы Айкуайвенчорр, Хибины; б - анальцима из камерного пегматита, Волынь. Условия съемки: ДРОН-2,0, анод - Cu, фильтр - Ni, скорость - 1^{0} в минуту. Аналитик Д.И.Белаковский (лаборатория МГРИ)

Исследования полиморфизма анальцима позволили Кумбсу [5] выделить три его структурные модификации:

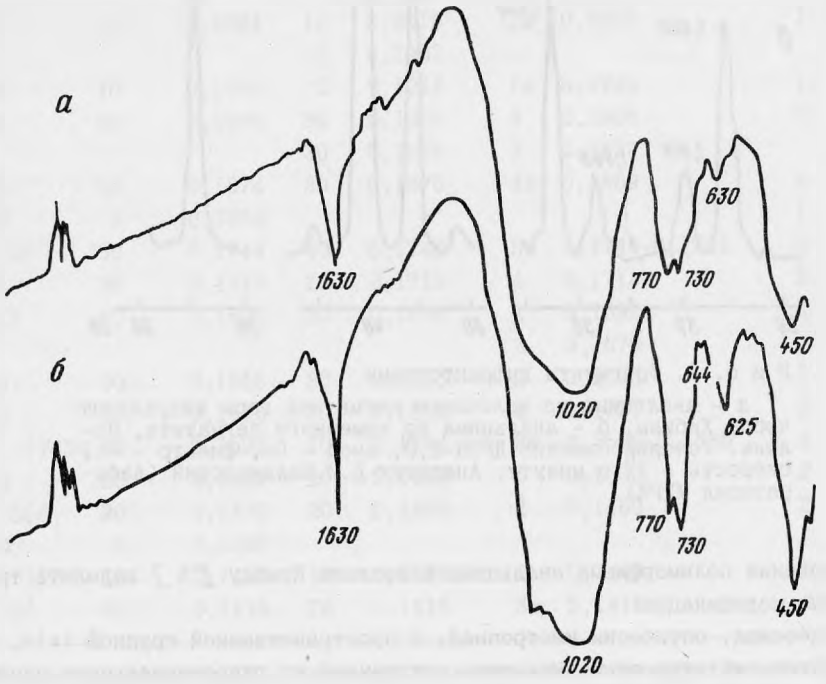
I. Кубическая, оптически изотропная, с пространственной группой Ia3d, к которой относится синтетический анальцим, полученный из гидротермального раствора.

2. Отклоняющаяся от кубической двуосная двупреломляющая модификация, в которой отклонение от кубической симметрии не фиксируется явно на рентгенограммах. Для этой модификации характерно появление рефлексов hkl с $2h+l \neq 4n$, запрещенных в пространственной группе Ia3d.

3. Тригональная или близкая к ней двупреломляющая модификация с расщеплением ряда рефлексов на рентгенограмме.

Ко второй модификации Кумбс отнес анальцим из Флиндерс. По-видимому, к ней же можно отнести и анальцим из Волыни. Расщепление рефлексов 440 и 640 при сохранении нерасщепленными рефлексов h00 для лавенского и хибинского анальцима позволяет предположить для них деформацию структуры по одной из осей третьего порядка с образованием ромбоэдрической ячейки. Угол при вершине ромбоэдра отклоняется при этом от прямого на величину не более $0,6^{o}$. В качестве причин образования аномалий различные авторы указывают изменение содержания воды в минерале, остаточные напряжения при росте, упорядоченность распределения кремния и алюминия в структуре анальцима.

Образцы с меньшим отношением содержаний кремния и алюминия проявляют тенденцию к более сильному искажению ячейки. Поскольку обедненные кремнеземом образцы анальцима характерны для щелочных пород, рентгеновские и оптические аномалии могут оказаться типоморфным признаком. Различие в упорядоченности кремния и алюминия в структуре анальцима разного генезиса подтверждается данными инфракрасной спектроскопии. На ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения I630 $см^{-I}$ (деформационные колебания воды) и широкий пик с максимумом I020 $см^{-I}$ (валентные антисимметричные колебания Si-O-Si и Si-O-Al). Низкочастотные пики 450, 625, 730 и 770 $см^{-I}$ связаны с деформационными симметричными колебаниями Si-O-Si и Si-O-Al. По данным Ахвледиани [I], отношения высот пиков 730 и 770 $см^{-I}$ определяют степень упорядоченности кремния и алюминия. Отношения высот этих пиков на ИК-спектрах анальцима из Волыни (рис. 2,а) и Хибин (рис. 2,б) равны соответственно 0,86



Р и с. 2. Инфракрасные спектры анальцима

а - из камерного пегматита, Волынь;б - из щелочного пегматита горы Айкуайвентчорр, Хибины. Условия съемки: Спекорд-75IR, запрессовка в KBr, навеска - 7 мг. Аналитик Н.С.Шатская (лаборатория ИМГРЭ)

и 2,56. Таким образом, по этим данным упорядоченность в хибинском анальциме значительно выше, что согласуется с его более низкой симметрией. В работе [I] приводятся также данные о преимущественном влиянии на величину параметра ячейки анальцима температуры его образования. Если эти данные справедливы, то температура образования анальцима в камерных пегматитах Волыни по приведенному в [I] графику определяется как 300±20°С.

В заключение следует отметить, что термин "аномальное двупреломление" по отношению к анальциму не является удачным. Нами были просмотрены образцы анальцима различного генезиса и ассоциаций из минералогического музея МГРИ, и ни один из них не оказался изотропным. Двупреломление здесь не является аномальным, так как связано с отклонением от кубической ячейки. В тех образцах, где это отклонение не фиксируется явно, о нем свидетельствует разброс значений параметра ячейки, вычисленных по разным рефлексам одной рентгенограммы. Этот разброс превышает пределы погрешности измерений. В связи с вышесказанным представляет интерес поиск среди природных образцов изотропного кубического анальцима.

Литература

I. Ахвледиани И.Р. Анальцимовый геотермометр // Тр. Груз. политехн. ин-та. 1982. № 3. С. 63-70.

2. Гриваков А.Г. О находке некубического гидротермального анальцима в Крыму // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1967. Вып. 6. С. 724-728.

3. Еременко Г.К., Вальтер А.А. Некубический анальцим из нефелиновых сиенитов Приазовья // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1965. № 19, вып. 3. С. 373-378.

4. Лазаренко Е.К. и др. Минералогия и генезис камерных пегматитов Волыни. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1973.

5. Coombs D.S. X-ray observations on wairacite and non-cubic analcime // Miner. mag. 1955. Vol. 30. P. 699-708.

УДК 548.2+548.5; 549.01

А.А.Годовиков, О.И.Рипинен, В.С.Павлюченко

ЛЮТЕЦИНОВЫЕ ГЕКСАЛИТЫ - ПРИМЕР НОВОГО ТИПА НЕОРГАНИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ, А ИХ СРАСТАНИЯ - НОВЫЙ ТИП МАЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕЛ

Введение

Лютецин впервые выделен в качестве самостоятельной волокнистой разновидности халцедона в 1892 г. М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас [22]. Эти авторы в зависимости от различия в оптических свойствах выделили три волокнистые разновидности кварца: халцедон - с удлинением волокон по оси а и прямым угасанием (оптический знак -), кварцин - с удлинением волокон по оси с и прямым угасанием (оптический знак +) и лютецин - волокнистый кварц с косым угасанием с углом 30°. В этой же работе они описали характерные срастания волокон лютецина, образующих сетку с углом между волокнами ~120°, хорошо видимые под микроскопом в шлифах $\perp$ "L_3", образующие уплощенные шестиугольные индивиды с головками в виде сильно уплощенной гексагональной дипирамиды. Учитывая косое угасание и особенности штриховки граней гексагональной дипирамиды лютециновых индивидов, вскрывающей их псевдогексагональную природу, авторы считали, что лютецин отличается

от кварца и по своей сингонии - низшей[1]. Они же показали, что псевдогексагональные индивиды лютецина срастаются друг с другом по оси "L_3" либо попарно, либо с образованием столбчатых агрегатов или налегая друг на друга гранями своих гексагональных дипирамид с последовательным смещением каждого следующего индивида вдоль оси а. Фактически этим ограничиваются все достоверные сведения о лютецине. Более того, уже в работе М.Ф.Валлеранта [27] люцетин не считается самостоятельной разновидностью кварца, в виде которых автор рассматривает только халцедон и кварцин. Эта точка зрения была воспринята в последующем такими известными минералогами и кристаллографами как П.Грот [17], Э.С.Дэна [12], В.Гольдшмидт [16], не знакомыми с образцами лютецина, а также учеными, специально занимавшимися изучением волокнистых разновидностей кварца [4, 10, 15], в распоряжении которых, к сожалению, образцов лютецина не было. Если в этих работах и вспоминается лютецин, то весьма неопределенно.

Нами лютецин был обнаружен при полевых работах в Монголии на базальтовых полях хр. Арц-Богд (Северо-Западная Гоби). Его изучение показало, что по своей морфологии и оптическим свойствам он аналогичен лютецину. М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас. Рентгенографическое же исследование лютецина показало, что он очень близок или даже идентичен так называемому моганиту [13, 14], имеющему моноклинную структуру, очень близок к структуре кварца [23, 24]. Учитывая сказанное и отсутствие в распоряжении авторов, выделивших моганит, классических образцов люцетина, следует считать, что они имели дело с люцетином, не обоснованно дав ему новое название [1].

Учитывая, что индивиды лютецина их срастания и малые минеральные тела, сложены лютецином, имевшиеся в нашем распоряжении, обладают весьма примечательными особенностями, на их рассмотрении необходимо остановиться более подробно.

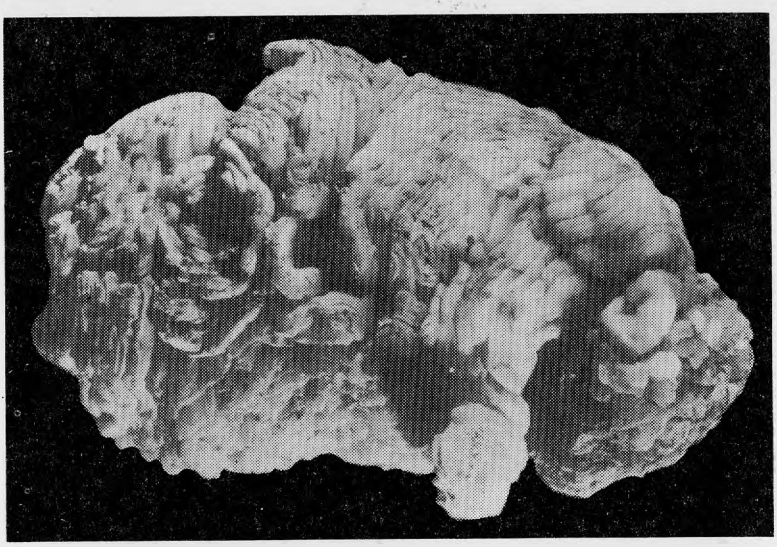
Гексалиты лютецина - пример нового типа неорганических кристаллических тел

При полевых исследованиях на территории поля ранне-меловых базальтов с агатовыми миндалинами в районе хр. Арц-Богд, Северо-Западная Гоби, Монголия [9], были обнаружены люцетиновые малые минеральные тела [2] с очень своеобразной формой и морфологией. Это лютециновые миндалины с поверхностью, состоящей из серии прилегающих друг к другу циклических или прямоугольных валиков (рис. 1), местами замыкающихся в округлые элементы поверхности с углублением в центре (два таких элемента отчетливо видны в левой части миндалины, показанной на рис. 1, и один - в правом нижнем ее углу). Кроме того, были обнаружены уплощенные округлые люцетиновые малые минеральные тела с углублением в центре, напоминающие уши (рис. 2), нарастающие на другие минералы и часто на псевдоморфозы кальцита по псевдогексагональным тройникам арагонита[2], находящиеся в свободном пространстве частично минерализованных пустот в базальтах. Помимо этого, были обнаружены люцетиновые гнезда и прожилки с той же характерной морфологией поверхности.

Более подробное изучение морфологии лютециновых малых минеральных тел позволяет видеть, что валики, слагающие эти тела, состоят из небольших индивидов,

[1] П.Грот [17] допускал в них триклинную сингонию.

[2] М.Мишель-Леви и М.Мишель-Чалмас [22] эти индивиды назвали **люцецитом**, что, с нашей точки зрения, не удачно, поскольку вносит путаницу в минералогическую литературу и не отвечает принятым традициям, когда минеральным индивидам, агрегатам, малым минеральным телам дают собственное название, не связанное с названием слагающих их минералов.



Р и с. I. Лютециновая миндалина, отличающаяся специфическими особенностями строения: состоит как бы из последовательно наложенных друг на друга кольцевых валиков. Размер IIх7 см. Окрестности горы Бургудий, Гоби, Монголия

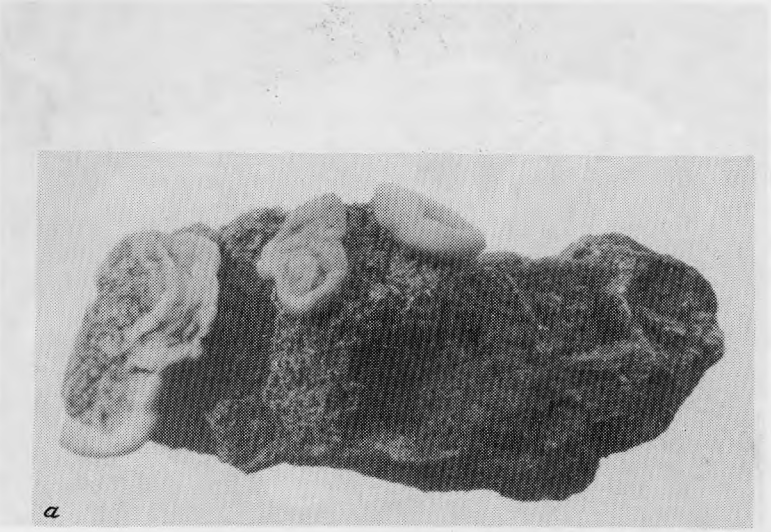
представляющих комбинацию короткой шестигранной призмы с очень плоской псевдогексагональной вершиной, последовательно сдвинутых относительно друг друга (рис. 3). За гексагональный облик отдельные индивиды рассматриваемых малых минеральных тел были названы гексалитами[3]. Их размер достигает 6-7 мм в поперечнике при толщине до 2-3 мм.

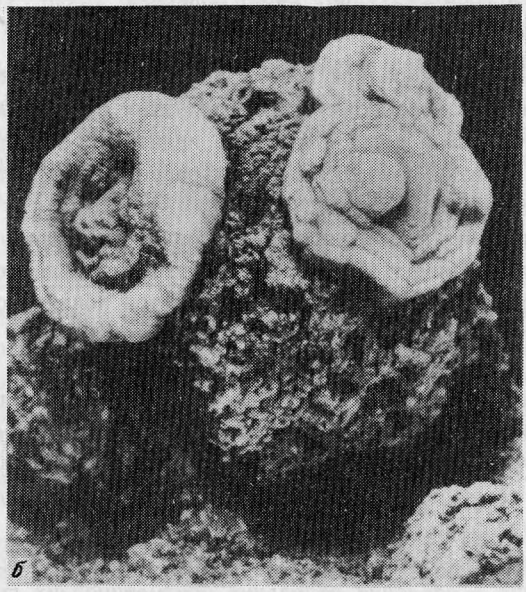
Помимо своей уплощенно-гексагонально-пирамидальной формы гексалиты характеризуются рядом других особенностей, на чем следует остановиться более подробно. Так, кроме шести граней призмы у многих гексалитов появляются две грани пинакоида, параллельного вертикальной кристаллографической оси, гладкие, вплоть до зеркально гладких, тогда как остальные шесть призматических граней оказываются шероховатыми. Сказанное четко видно уже на рис. 3,б, где легко обнаружить, что одна из граней пинакоида нескольких параллельно сросшихся гексалитов, смотрящая прямо на зрителя, гладкая, тогда как смежные с нею призматические грани - шероховатые - имеют на своей поверхности небольшие валики, параллельные длинному их ребру и мелкие бугорки. На этом же рисунке можно видеть, что у гексалитов, входящих в состав одного валика, гладкие грани пинакоида параллельны друг другу.

Описанные различия в строении отдельных призматических граней таких гексалитов достаточно четко выявляются и при исследовании их с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 4).

Таким образом, судя по морфологии призматических и пинакоидных граней гексалитов, гексалиты являются, как это и следовало ожидать, псевдогексагональными и относятся к кристаллическим телам низшей сингонии - их гексагонально-призматический габитус является следствием, по крайней мере, комбинации пинакоида (гладкие грани), еще одного пинакоида и ромбической призмы (шероховатые грани), хотя морфология последних граней иногда и одинакова.

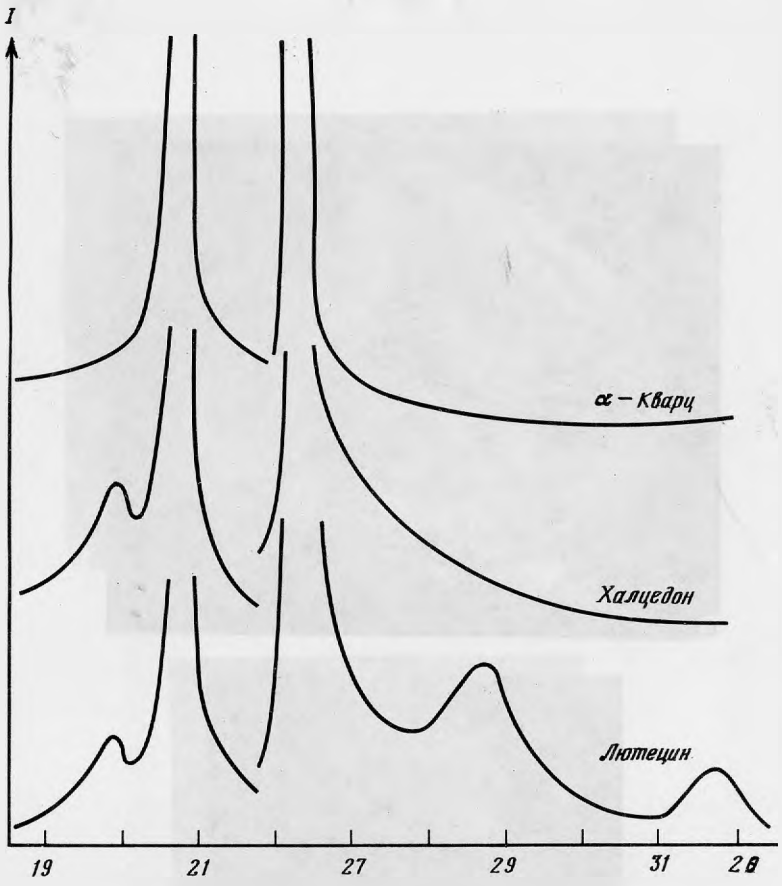
[3] Годовиков А.А., Рипинен О.И., Осолодкина Г.А., Павлюченко В.С. См.этот сборник, с.





Р и с. 2. Уплощенно-дисковидные лютециновые малые минеральные тела из внутренней полости миндалины, нарастающие на псевдоморфозы кальцита по арагониту

а - общий вид, размер 8х3,5 см; б - деталь строения, размер левого выделения I4xI2 мм. Район высоты I6I6, Северо-Западная Гоби, Монголия

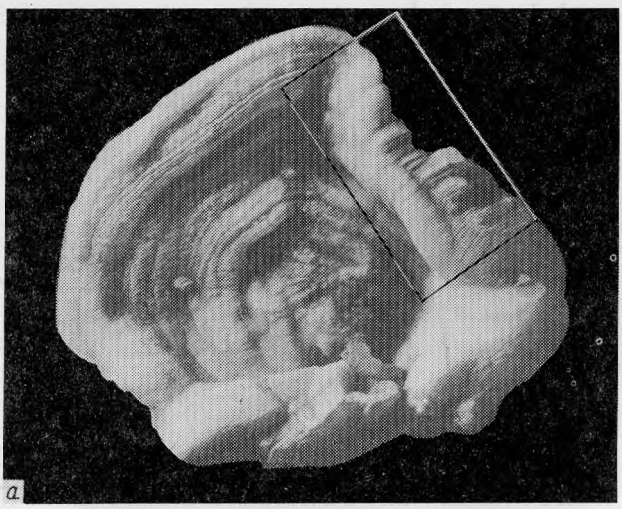


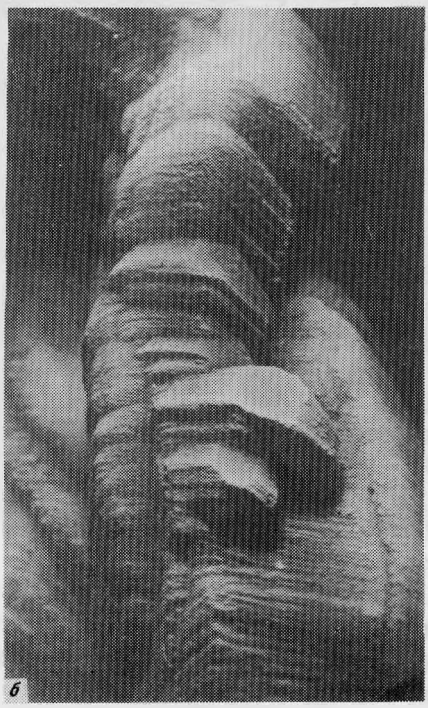
Р и с. 3. Сравнение дифрактограмм лютецина, синтетического кварца и халцедона

Поверхность граней "гексагональной дипирамиды" гексалитов практически никогда не бывает гладкой. Напротив, для нее характерна штриховка с отдельными удлиненными (волокнистыми или пластинчатыми) элементами, пересекающимися друг с другом под углом $\sim$ I20/60^{o}, легко наблюдаемая макроскопически и тем более под бинокулярным микроскопом (рис. 5). В этом отношении рассматриваемые грани близки к описанным М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас [22], хотя и не столь разнообразны по рисунку штриховки.

Аналогичная, но менее четкая картина выявляется под растровым электронным микроскопом (рис. 6), причем при больших увеличениях четкость отдельных штрихов, столь характерная для картины под бинокулярным микроскопом (см. рис. 5), постепенно как бы размывается, хотя ориентировка отдельных элементов штриховки друг относительно друга под углом I20/60^{o} просматривается вплоть до увеличения в 2200 раз (рис. 7, а-в); при больших увеличениях удается увидеть лишь шероховатую поверхность граней (рис. 7, г), аналогично тому, что наблюдалось на призматических гранях гексалитов (см. рис. 4,г).

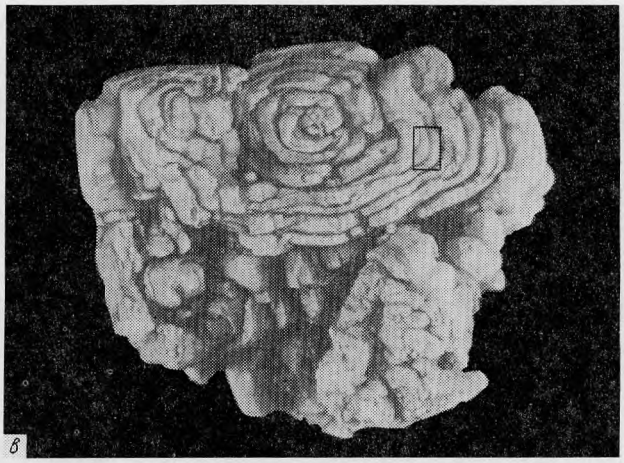
Под микроскопом в шлифах, приготовленных перпендикулярно псевдооси "L_3" гексалитов, очень четко выявляется тригонально-гексагональная картина взаимного



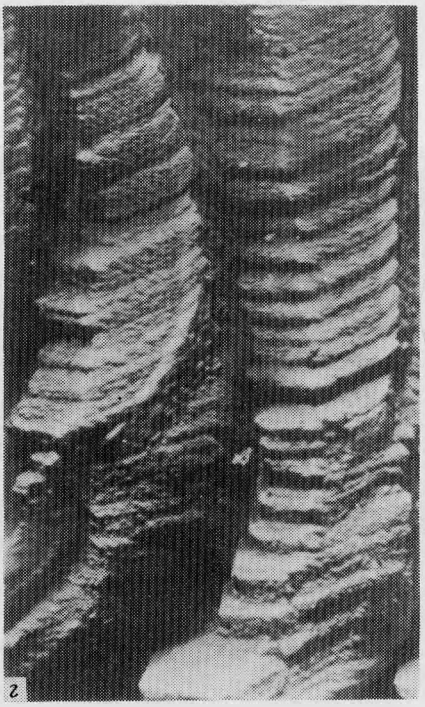


Р и с. 4. Строение лютециновых валиков

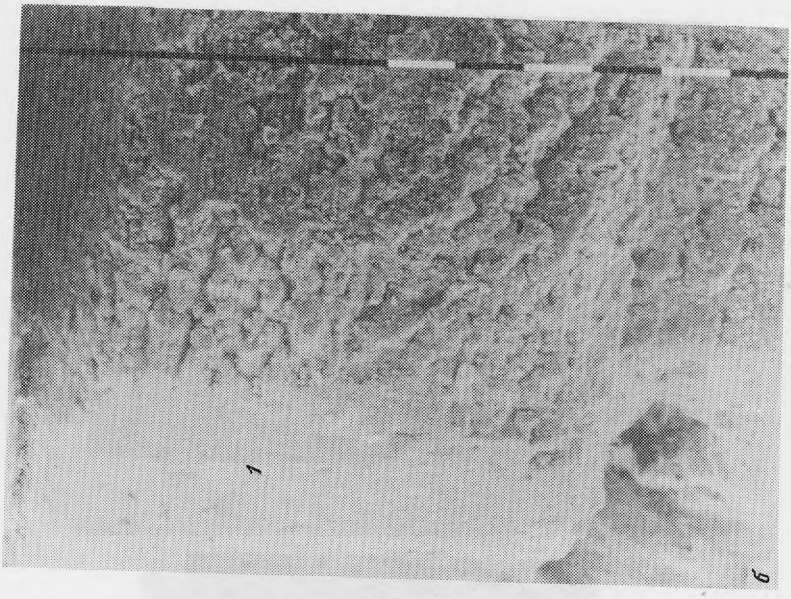
а, б - лютециновое малое минеральное тело более простой морфологии (а - общий вид, размер 3,5х3 см; б - деталь строения, выделенная на предыдущем рисунке); в, г - люцетиновое малое минеральное тело более сложной морфологии (в - общий вид, размер 7,5х7 см; г - деталь строения, выделенная на предыдущем рисунке). Район высоты 1616, Гоби, Монголия

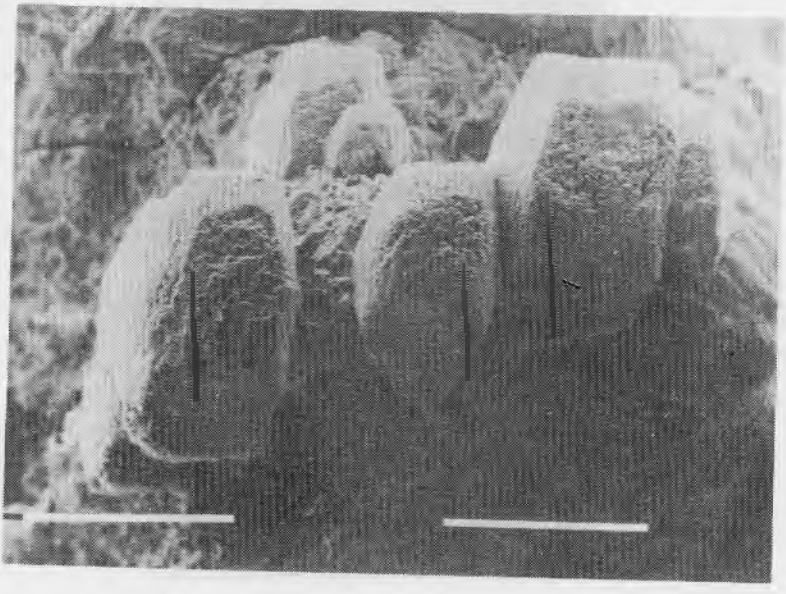


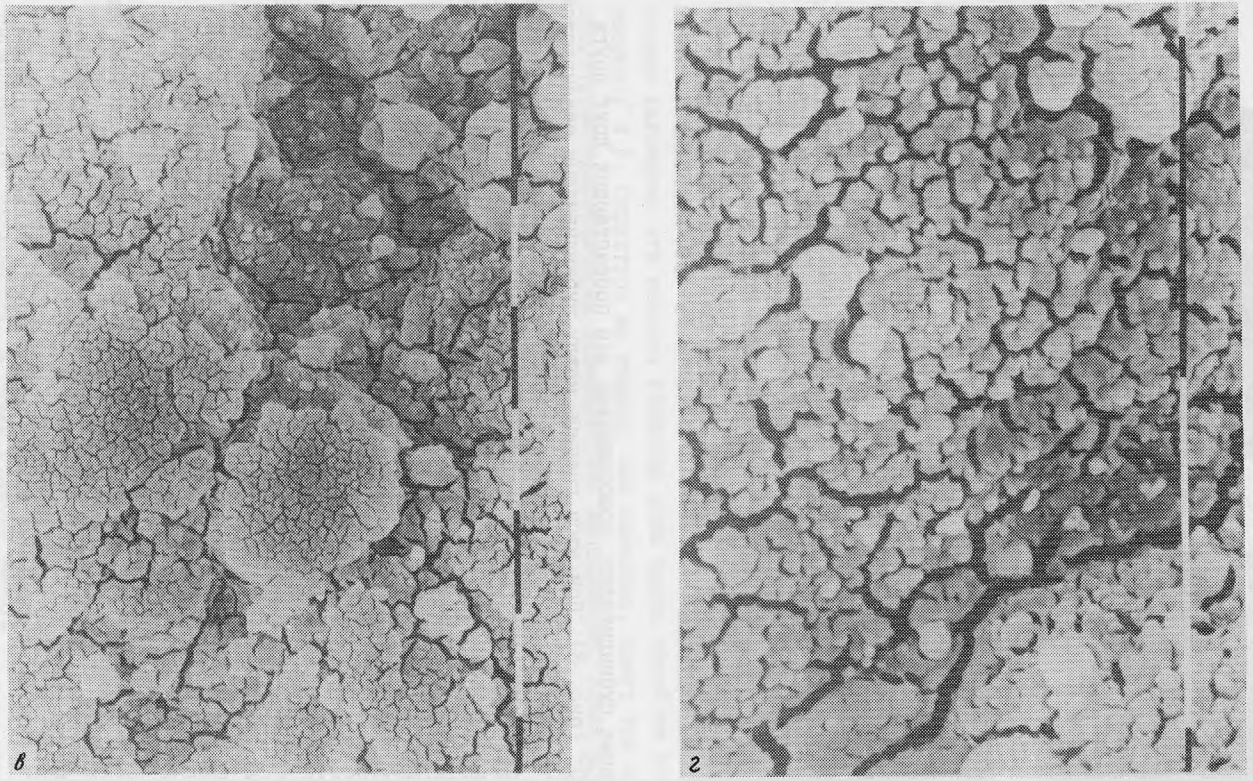
б



г

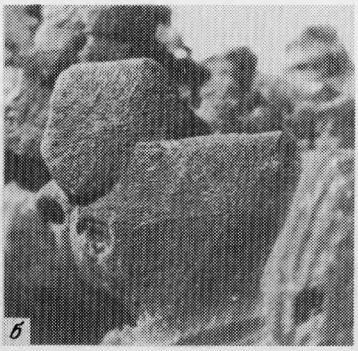


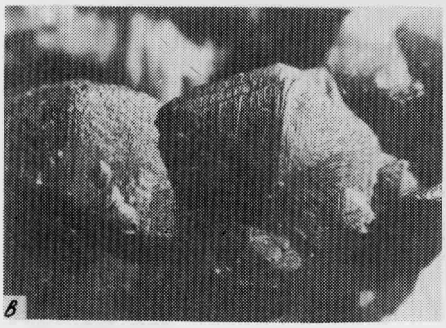




Р и с. 5. Различия гладких (I) и шероховатых (2) призматических граней гексалитов, выявляемые с помощью растрового электронного микроскопа

а - общий вид параллельно-ступенчатого сростка гексалитов, вытянутого по L_7, в которых все гладкие грани каждого гексалита параллельны друг другу, увел. 30, шкала I мм; б - различия в строении гладкой (I) и шероховатой (2) граней, увел. I00, шкала I00 мкм; в, г - детали строения шероховатой грани: в - увел. I500, шкала I0 мкм, г - увел. 5000, шкала I0 мкм. Растровый электронный микроскоп "Филлипс"; 27 кВ, ВЕ





Р и с. 6. Морфология граней "гексагональной пирамиды" гексалитов, наблюдаемая под бинокуляром микроскопа

а - два тесно сросшихся гексалита; б - два гексалита, нарастающих один на другой; в - деталь строения гексалита. Увел. 6. Уроч. Гу-Нус, Монголия

прорастания отдельных субиндивидов, срастающихся или прорастающих друг друга под углом ~I20/60° (рис. 8). При этом границы между субиндивидами оказываются некровными, как это типично для двойниковых границ, а зубчатыми, напоминающими срез скелетного кристалла (рис. 8,д). В пользу скелетной природы субиндивидов говорит их копьевидное окончание, а также срастание отдельных ветвей, сохраняющих единую оптическую ориентировку под углом ~I20° друг к другу (рис. 8,е). Такие ветви скелетных субиндивидов в срезе, перпендикулярном к "L_3", как это характерно для лютецина [22], имеют положительное удлинение, косое угасание под углом около 27°. В свою очередь пачки субпараллельных субиндивидов, в том числе взаимопрорастающие, обнаруживают двойниковую ориентировку относительно друг друга с углом срастания в I20° (см. рис. 8,а-г), что отвечает двойникованию по бразильскому закону[4].

Попытка получить лауэграмму от препарата, приготовленного вдоль плоскости, перпендикулярной "L_3" гексалита для выявления закона двойникования отдельных скелетных пластин лютецина, к сожалению, не увенчалась успехом. На фотопленке в этом случае появились лишь отдельные пятна, соответствующие дифракционной картине от тонкодисперсного кварца, поскольку различия между кварцем и лютецином таким путем не выявляются.

Следует отметить, что в описываемых шлифах можно видеть также чередование зон с сетчатыми (сагенитовыми) срастаниями волокон лютецина под углом I20°, с зонами зернистого кварца, как это часто наблюдается для сферолитовых корок халцедона, когда отдельные волокнистые зоны халцедона чередуются с зонами, сложенными мелкозернистым кварцем [2]. При этом между теми и другими зонами в

гексалитах наблюдаются взаимоотношения как типа автоэпитаксии (рис. 9,а), так и дорастания головок отдельных скелетных индивидов и последующего геометрического отбора между отдельными зернами кварца (рис. 9,б). Значительно более сложная картина обнаруживается в шлифах, параллельных "L_3" гексалитов (рис. I0). В них выявляются не только участки с параллельно срастающимися волокнистыми субиндивидами, но участки с их подворотом, зональностью, чередованием с зонами мелкозернистого кварца и участками, в которых субиндивиды находятся в двойниковых срастаниях под углом $\sim I20^{\circ}$ друг к другу.

Таким образом, микроскопические и электронно-микроскопические исследования, с одной стороны, подтверждают общие особенности морфологии гексалитов, ведущую роль в их строении двойниковых срастаний и прорастаний тонкопластинчатых скелетов лютецина под углом $\sim I20/60^{\circ}$. С другой стороны, они показывают значительно более сложную картину строения гексалитов, менее регулярную и очень рыхлую.

Абстрагируясь от ряда деталей строения гексалитов, прежде всего их нерегулярности и псевдогексагональности, можно представить идеальный гексалит как сильно уплощенный призматически-гексагональный индивид с головкой в виде очень тупой гексагональной дипирамиды, состоящей из субиндивидов, представленных скелетными волокнами лютецина, сросшимися друг с другом под углом $\sim I20/60^{\circ}$.

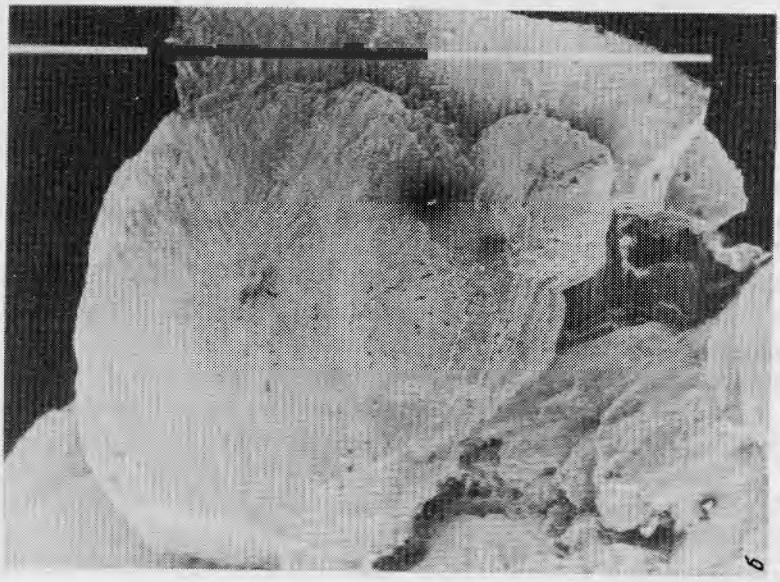
Сопоставляя гексалиты лютецина с халцедоном следует напомнить, что обычно волокна последнего описываются [3,4] как волокна кварца, вытянутые по $[I0\bar{1}0]$ или по $[II\bar{2}0]$. При этом в сферолитах халцедона они ориентированы во все стороны от некоторого центра, тогда как в сферолитовых корках они имеют иногда даже почти субпараллельную ориентировку. Таким образом, в сферолитах и сферолитовых корках халцедона его волокна удлинены лишь вдоль одной из осей L_2 структуры кварца [4]. Структура же кварца, как известно, имеет три оси L_2, т.е. три структурно-энергетически эквивалентных направления, вдоль которых мог бы происходить рост волокон халцедона. В сферолитах и сферолитовых корках халцедона реализуется лишь одно из этих направлений.

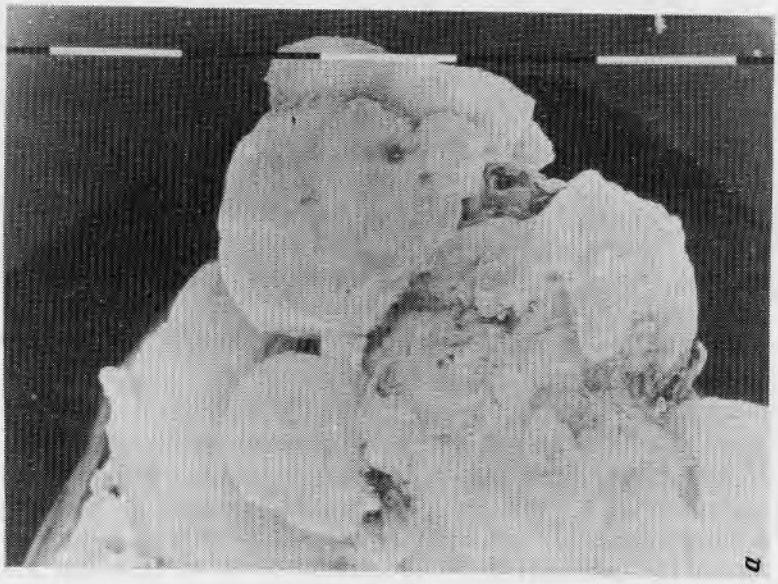
Иное наблюдается в гексалитах лютецина. В них в силу каких-то обстоятельств реализуются все три направления роста по L_2. Благодаря этому и возникает своеобразная картина тригональной (гексагональной) сагенитовой сетки взаимного срастания или прорастания отдельных тонкоигольчатых скелетных субиндивидов, столь отчетливо видимая под бинокуляром (см. рис. 5), растровым электронным микроскопом (см. рис. 7) и особенно - в шлифах под обычным микроскопом (см. рис. 8). Гексалиты возникают путем наложения отдельных таких сеток с гексагональными очертаниями друг на друга (см.рис. 6,г) по мере роста гексалита вдоль оси "L_3".

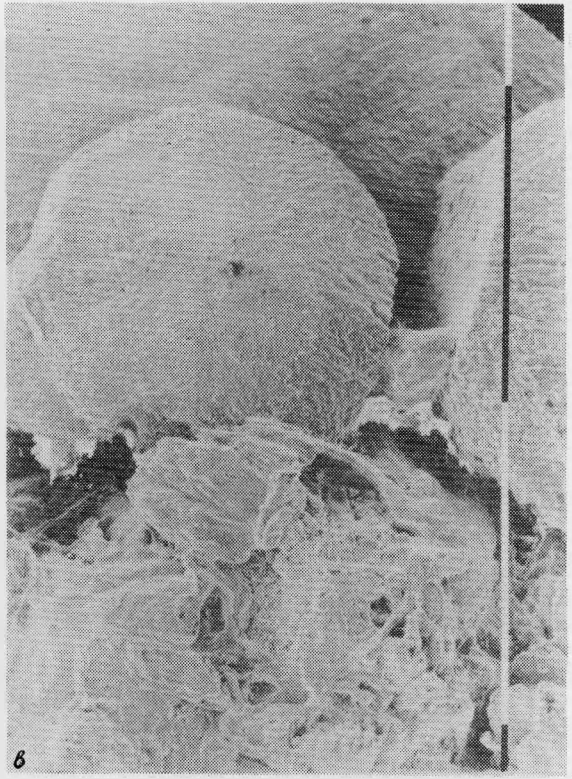
При выветривании гексалиты изменяются не равномерно, а избирательно. Особенно это хорошо видно на примере черных гексалитовых малых минеральных тел из урочища Гу-Нус. В этом случае они с поверхности покрываются, как это типично и для выветрелого агата и халцедона [2], белесой коркой, проникающей в них на разную глубину. Интересно, что в сколе таких белых участков можно видеть типичную для гексалитов тригонально-гексагональную сетку из тончайших волокнистых субиндивидов, заключенных в общую белесую массу.

---

[4] Интересно напомнить, что пластинчатые субиндивиды (ламели), срастающиеся по бразильскому закону, иногда нацело слагают индивиды кварца [4,2I].

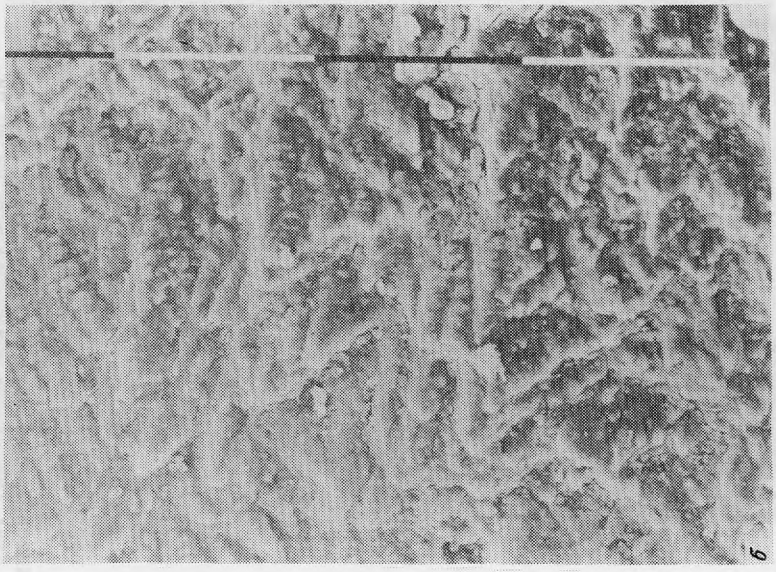




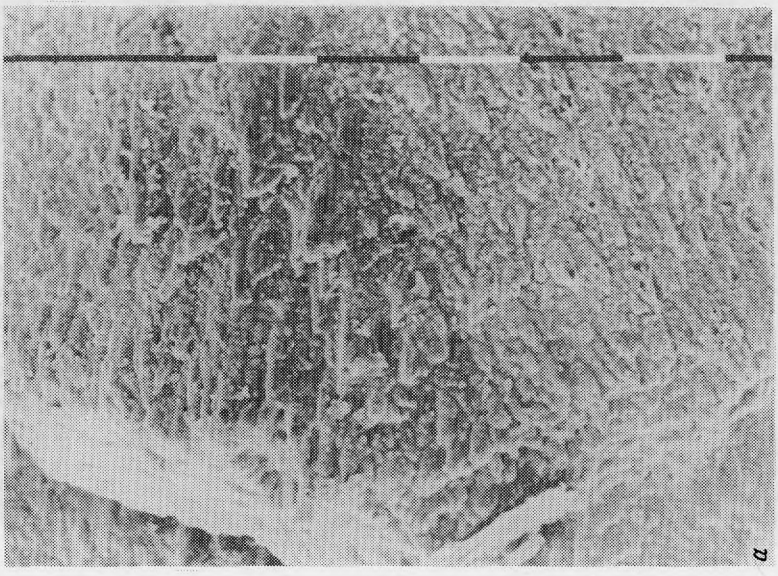


Р и с. 7. Морфология граней "гексагональной пирамиды" гексалитов, наблюдаемая под растровым электронным микроскопом

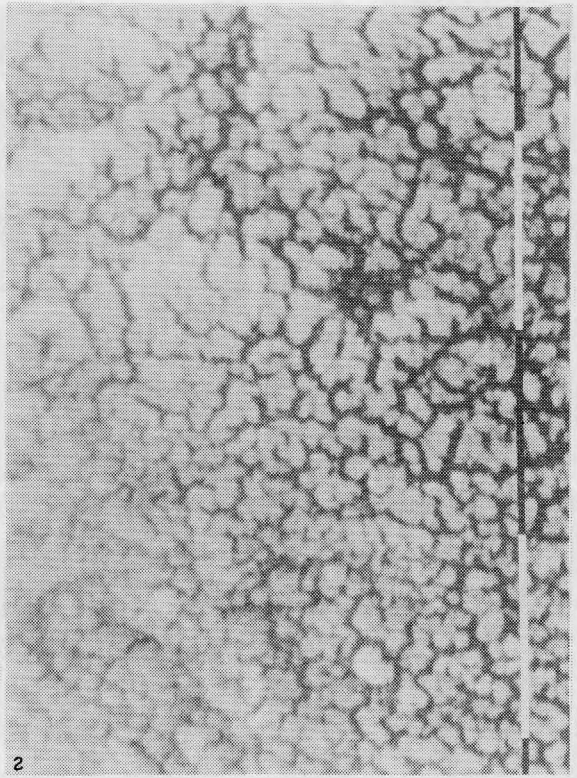
а - несколько смежных гексалитов с отчетливой тригонально-гексагональной штриховкой "гексагонально-пирамидальных" граней; у двух гексалитов в центральной части рисунка хорошо видны гладкие грани пинакоида (по одной верхней грани у каждого гексалита); б - детали морфологии граней нижнего гексалита; в - то же, для верхнего гексалита; г - толстопризматический гексалит. Шкала I мм. Растровый электронный микроскоп "Филипс"; 27 кВ. Окрестности горы Буругдий, Юго-Западная Гоби, МНР



б

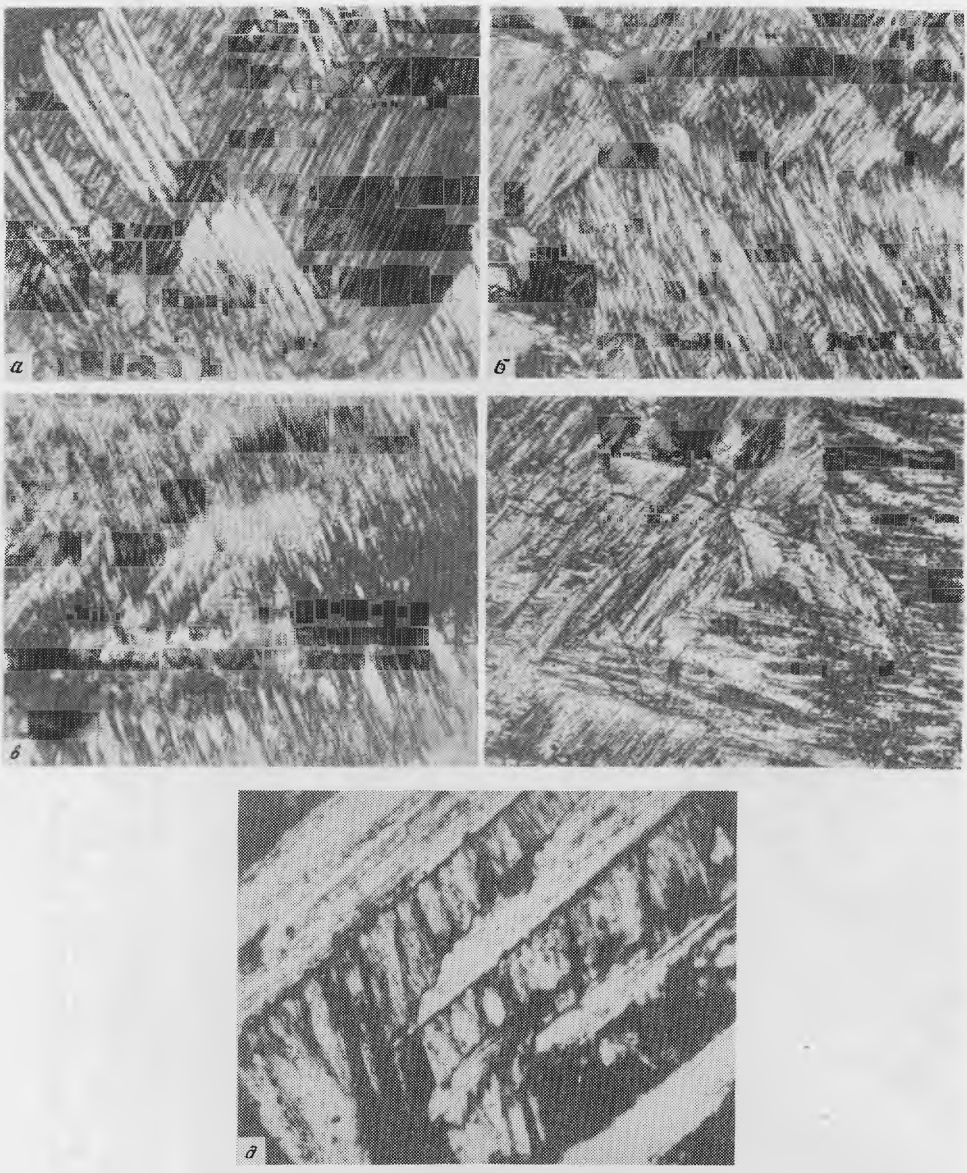


а



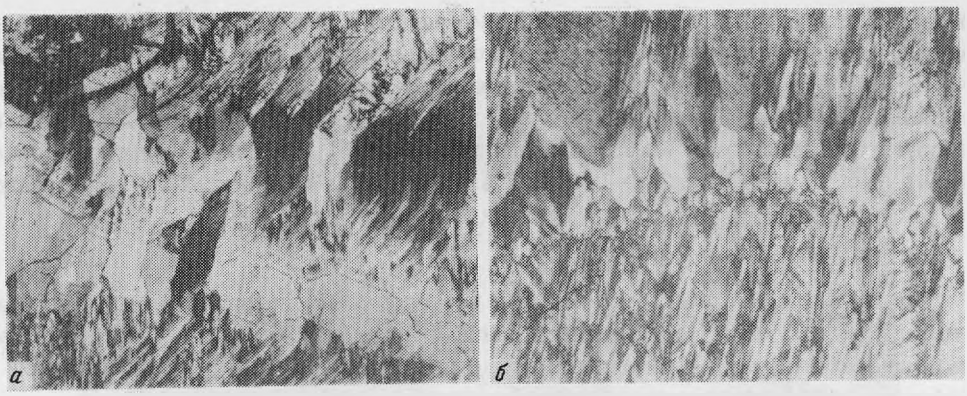
Р и с. 8. Детали морфологии граней "гексагональной пирамиды" гексалита, показанного на рис. 7,б, выявляемые под растровым электронным микроскопом

а - увел. 150, шкала 100 мкм; б - увел. 300, шкала 100 мкм; в - увел. 300, шкала 100 мкм; г - увел. 30000, шкала 1 мкм. Растровый электронный микроскоп "Филлипс"; 27 кВ. Окрестности горы Буругдий, Юго-Западная Гоби, МНР



Р и с. 9. Фотографии шлифов, перпендикулярных "L_3" гексалитов

а-г - тригональные сетчатые срастания субиндивидов гексалитов; д - морфология индивидуальных субиндивидов, вытянутых вдоль L_2, с зубчатыми границами и копьевидными головками; е - скелетный субиндивид, состоящий из двух сросшихся под углом I20° элементов, имеющих одинаковое угасание. а-в - увел. 50; г - увел. I25. Николи частично скрещены. Уроч. Гу-Нус, Монголия

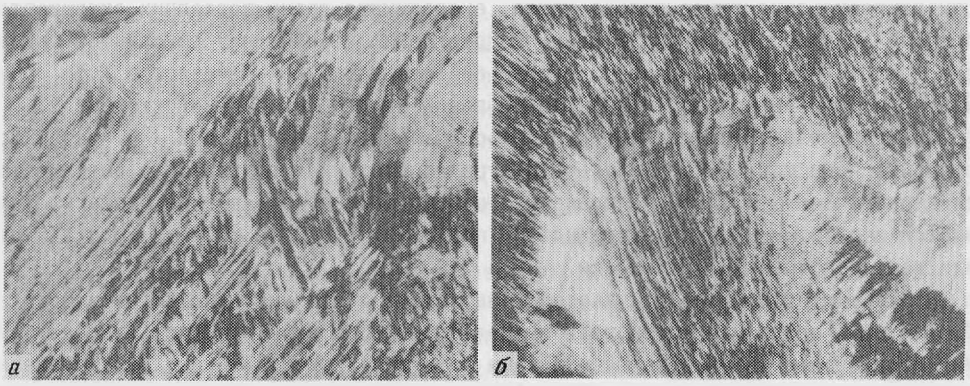


Р и с. 10. Чередование субиндивидов гексалитов с зонами зернистого кварца

а - кварцевые зерна зональны на периферии; снизу они нарастают на субиндивиды гексалитов, сверху, наоборот, субиндивиды гексалитов ориентировано нарастают на ограненные зерна кварца (срез их близкоперпендикулярен L_3); б - зональность зон с элементами геометрического отбора. Увел. 50. Николи частично скрещены. Уроч. Гу-Нус, Монголия

Травление гексалитов концентрированной HF приводит к растворению материала, находящегося между волокнами сагенитовой сетки, и появлению последней в виде четкой рельефной сетки на травленой поверхности гексалитов (рис. II). Такая сетка характеризуется всеми описанными выше особенностями сагенитовых сеток скелетных волокон лютецина.

Таким образом, гексалиты можно рассматривать как своеобразные кристаллы лютецина, состоящие из каркаса скелетных волокон, сплетенных в сагенитовую сетку в ячейках которой находится аморфное вещество, т.е. как так называемые полукристаллические тела, известные для некоторых органических полимеров [9], тогда как для неорганических веществ они выделяются впервые. По особенностям своего строения полукристаллические тела типа гексалитов, имеющих к тому же отчетливую огранку, занимают промежуточное положение между обычными кристаллами, в узлах кристаллической решетки которых находятся отдельные атомы, ионы или моле-



Р и с. II. Фотографии шлифов (срез близкопараллельный "L_3") гексалитов

а - элементы гексалитовой сетки (нижняя зона) с подворотом субиндивидов в верхней зоне; б - сложные взаимоотношения игольчатых и зернистых участков. Увел. 50. Николи частично скрещены. Уроч. Гу-Нус, Монголия

кулы, и глобулярными кристаллами в узлах решетки которых находятся глобулы - свернутые в шарики нитяные молекулы полимеров или их пачки. Глобулярные кристаллы могут иногда иметь самостоятельную огранку, как это характерно для глобулярных кристаллов вируса табачной мозаики [9]. Из неорганических веществ к глобулярным кристаллам относится благородный опал, хотя ограненных его образований пока не найдено. В то же время его структура отвечает плотнейшей упаковке глобул нитяных полимерных молекул кремнезема или их пачек [4].

Лютециновые малые минеральные тела

Для того, чтобы понять особенности морфологии лютециновых малых минеральных тел, демонстрирующих новый тип срастаний минеральных индивидов и новый тип малых минеральных тел, необходимо, прежде всего, остановиться на рассмотрении способов срастания лютециновых гексалитов друг с другом.

Отдельные гексалиты лютеция срастаются друг с другом вдоль оси "L_3". При этом существуют три различных типа их срастаний (рис. 12). В простейшем случае сросшиеся гексалиты дают столбчатое образование, вытянутое по "L_3", в котором часто индивиды несколько сдвинуты относительно друг друга в направлении, перпендикулярном "L_3", сохраняя единую ориентировку (рис. 11,в)[5]. Последняя четко проявляется в едином отблеске от гладких граней пинакоида всех гексалитов, входящих в такое столбчатое срастание.

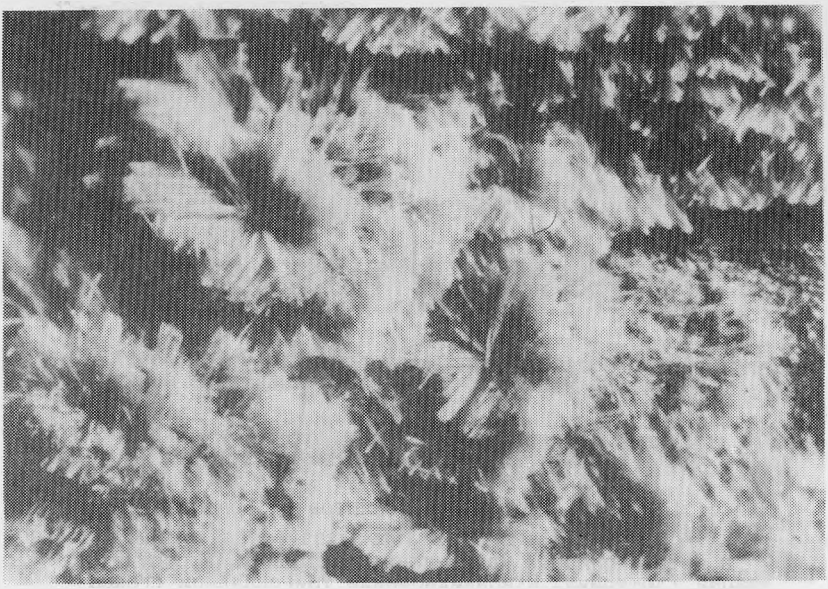
Другой тип срастаний представлен случаем, когда каждый следующий гексалит, увеличивающий срастание в направлении оси "L_3", сдвигается относительно предыдущего на некоторую величину вдоль оси L_2 (рис. 12,г,д), близко к тому, как это схематически было показано М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас для срастающихся псевдогексагональных индивидов. Такое срастание со сдвигом можно объяснить полярностью осей L_2 в структуре представителей семейства кремнезема, близкой к кварцу, на что обращал внимание еще Г.Г.Леммлейн [6]. Подобный односторонний сдвиг каждого гексалита по L_2 приводит к образованию изогнутых ограненных валиков гексалитов, столь характерных для малых минеральных тел [3], представленных их срастаниями (см. рис. 2,3,а). Такие малые минеральные тела, часто напоминающие по своей форме ухо, предлагается назвать циклогексалититами. Говоря о них следует отметить, что благодаря указанному механизму срастаний гексалитов, при котором отдельные гексалиты находятся в близко параллельной ориентировке друг относительно друга, аналогичные грани последних оказываются параллельными друг другу. Поэтому, когда грани пинакоидов у гексалитов гладкие, они дают единый отблеск сразу от всей системы сросшихся гексалитов, что производит впечатление монокристалличности всего малого минерального тела.

Сдвиг гексалитов может происходить сначала по одной из осей L_2, затем по второй и даже третьей. В результате агрегат сросшихся гексалитов, вытягивавшийся первоначально в одном направлении, изменяет свое направление роста и оказывается вытянутым в другом направлении под углом в 120^0 к первому (рис. 12,е) или даже закрученным циклически.

Несколько и даже все из указанных вариантов срастания гексалитов иногда наблюдаются в одном малом минеральном теле. Примером их могут быть гексалитовые малые минеральные тела, названные нами ортогексалититами (рис. 13). На внешней поверхности ортогексалититов (рис. 13,а) видно, что они как бы состоят из прямо-

---

5 Парных и ровностолбчатых срастаний гексалитов, описанных М.Мишель-Леви и М.Мунье-Чалмас [22], нами не обнаружено.

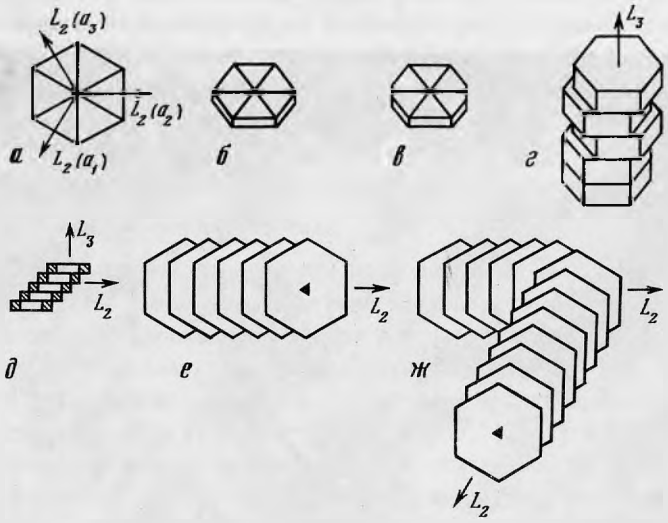


Р и с. I2. Сагенитовые срастания нитяных скелетных кристаллов лютецина под углом ~I20° друг к другу, выделенные на поверхности гексалитов после протравливания их концентрированной HF. Увел. 40. Урочище Гу-Нус, Северо-Западная Гоби, Монголия

угольников, нарастающих друг на друга, две стороны которых составлены стопками гексалитов (см. рис. I2,в), нарастающих друг на друга вдоль "L_3" почти без сдвигов (и тем более в одну сторону, как в случае валиков у циклогексалитов) по L_2 (боковые стороны ортогексалита, показанного на рис. I3,а), а две противоположных - из срастания гексалитов, сильно сдвинутых по L_2 (верхняя и нижняя стороны ортогексалита, показанного на рис. I3,а). При этом боковые стороны ортогексалититов оказываются покрыты гранями пинакоида отдельных гексалитов, часто гладкими, дающими единый отблеск от макрограни ортогексалитита.

Говоря о лютециновых малых минеральных телах, следует отметить существенное различие морфологии и строения их внешней и внутренней поверхности. Очень ярко сказанное видно на ортогексалитите, показанном на рис. I3. В этом случае все описанные выше особенности ортогексалитита и прежде всего его как бы послойное строение из вставленных друг в друга прямоугольных элементов из сросшихся гексалитов, хорошо видны лишь на внешней его поверхности (см. рис. I3,а). Тут же можно найти и место прикрепления ортогексалитита к субстрату, находящееся в данном случае примерно на одной трети расстояния между вертикальными границами гексалита. При этом внешняя поверхность ортогексалитита имеет не плоское, а слегка конусное строение (рис. I4,а). Его возникновение можно представить как результат постепенного смещения каждого из нарастающего гексалитового прямоугольника в направлении, перпендикулярном главной плоскости ортогексалитита (оно лежит в плоскости рис. I3,а).

Совершенно иная картина наблюдается на внутренней поверхности ортогексалитита, представляющей собой ступенчатое воронкообразное углубление с оригинальной центральной частью (см. рис. I3,б). На внешней части воронки можно видеть, что



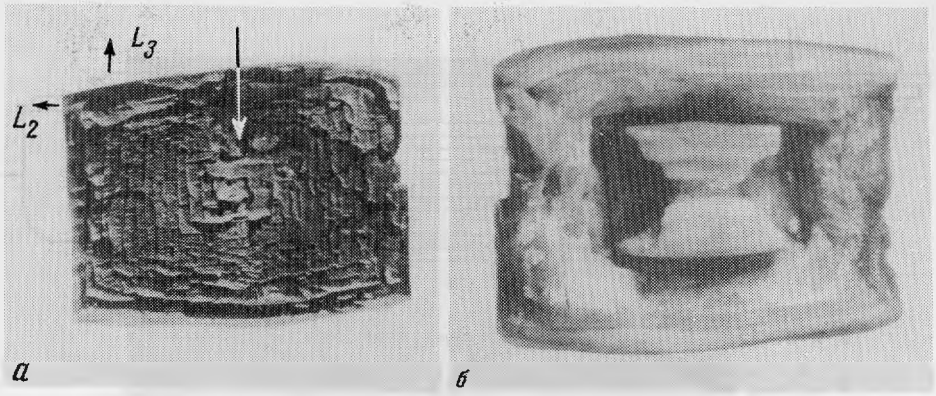
Р и с. I3. Схема строения гексалитов и образования их срастаний

а - три полярных направления по трем L_2 в структуре кварца (лютецина) и возникновение тригональной (гексагональной) сетки на поверхности граней пирамиды гексалита; б,в - аксонометрическая проекция гексалита: г - столбчатое срастание гексалитов, б - ограненного гранями призмы, в - ограненного гранями призмы и пинакоида (0I0) без существенного сдвига по L_2; д,е - срастание гексалитов по "L_3" с последовательным их смещением по одной из L_2: д - вид сбоку (по L_2), е - вид сверху (по "L_3"); ж - срастание гексалитов по "L_3" с последовательным их сдвигом сначала вдоль одной, а затем вдоль другой оси L_2 (вид сверху)

она сложена практически теми же прямоугольными элементами, состоящими из гексалитов, что и внешняя его конусная часть, не только последовательно нарастающими друг на друга, но и сдвигающимися постепенно в направлении роста, перпендикулярно главной плоскости ортогексалитита (рис. I4,а). В центре же этой воронки (рис. I3,б) находится очень своеобразное полукольцо, состоящее из вложенных друг в друга полукольцевых элементов из гексалитов, размер которых от периферии к центру постепенно и всесторонне уменьшается (рис. I4,б).

Важной особенностью внутренней поверхности ортогексалитита является и то, что при определенном ее положении по отношению к источнику света можно получить единый отблеск от мельчайших кристалликов кварца, ориентированно нарастающий на гексалиты, свидетельствующий о единой ориентировке всех гексалитов в соответствующих малых минеральных телах. В этом случае отблески могут возникать от плоскостей, находящихся и под углом $\sim 30^{\circ}$ к оси вытянутости ортогексалититовой воронки. Интересно, что этот отблеск дают не только внешние края корки воронки, но и ее центральная полукольцевая часть. Таким образом, ортогексалит не только состоит из отдельных сросшихся гексалитов, но все они имеют единую или близкую к единой ориентировку.

Аналогичные особенности строения внешней и внутренней поверхности характерны и для циклогексалититов. Разница по сравнению с ортогексалититами проявляется лишь в том, что внешняя поверхность циклогексалититов (см. рис. I; 3,а) сло-



Р и с. I4. Малое минеральное тело, представляющее собой плоскопрямоугольное срастание гексалитов - ортогексалитит

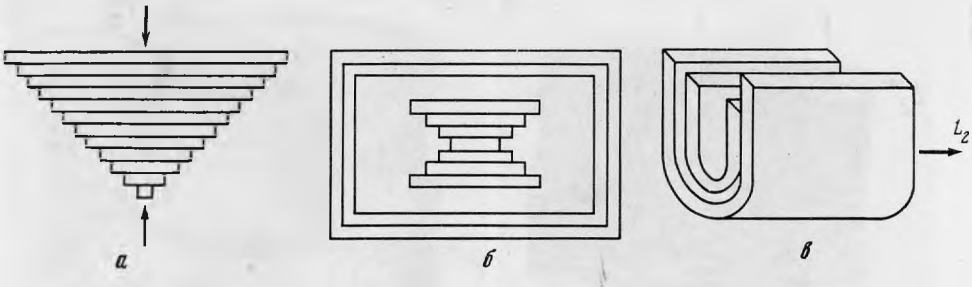
а - наружная поверхность (стрелкой указано место прирастания ортогексалитита к субстрату); б - внутренняя поверхность. Размер 3х2х0,5 см. Уроч. Гу-Нус, Монголия

жена не ортогональными (прямоугольными) элементами из параллельно сросшихся гексалитов, постепенно увеличивающихся по размеру от центра зарождения к периферии, а циклическими элементами, сложенными параллельно сросшимися гексалитами, сдвинутыми относительно друг друга (см.рис. 3,б,г), что определяет крутизну и направление поворота элементарного циклического элемента циклогексалитита.

Для внутренней поверхности гексалититов характерны полигранно-столбчатые элементы, часто с углублением в центре (рис. I5), параллельные друг другу, или находящиеся друг к другу под углом ~I20/60°. В некоторых малых минеральных телах можно видеть, что отверстия в описанных столбчатых элементах оказываются сквозными и выходят на наружную поверхность циклогексалититов. Внутренняя поверхность подобных трубчатых элементов является, таким образом, продолжением внешней поверхности циклогексалитита. Последнее особенно хорошо видно на гексалититах, встречающихся в урочище Гу-Нус. Здесь гексалититы имеют из-за примеси тонкодисперсных марганецсодержащих минералов черную окраску, причем она темнее на внешней поверхности гексалититов и часто значительно светлее на их внутренней поверхности. Благодаря этому рассмотренные трубчатые образования, характерные для внутренней поверхности гексалититов, имеют более темную, вплоть до черной,окраску внутри и более светлую окраску, вплоть до белой - во внешних частях.

Таким образом, простейшие малые минеральные тела, состоящие из параллельно сросшихся гексалитов, т.е. являющиеся трансляционными гексалитовыми формами, характеризуются анизотропией. Она выражается в различии их внешней и внутренней поверхности, отличающихся по своей морфологии, а в ортогексалититах также и в скульптуре поверхности "гранных элементов" - гладких в направлении, параллельном оси роста ортогексалитита и со штриховкой - в направлении, перпендикулярном ему (см. рис. I3,а).

Фактически особенности морфологии всех остальных встреченных лютециновых малых минеральных тел - гексалититовых миндалин, гнезд, прожилков, корок, состоящих из параллельно (трансляционно) сросшихся гексалитов, можно представить как комбинацию (срастания) или постепенных переходов между орто- и циклогексалититами. В качестве примера к сказанному можно вернуться к наружной поверхности

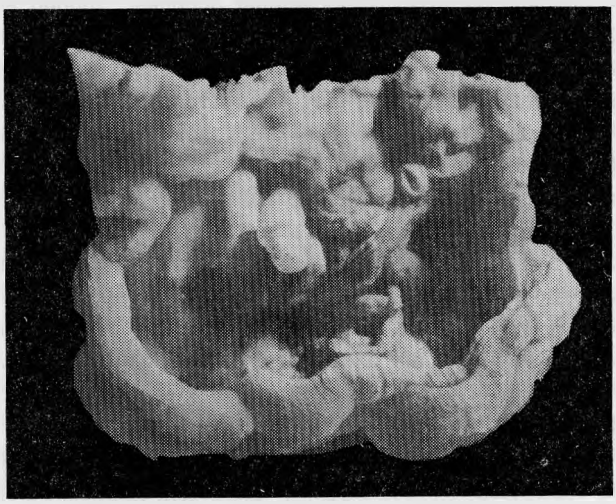


Р и с. I5. Схема строения ортогексалитита

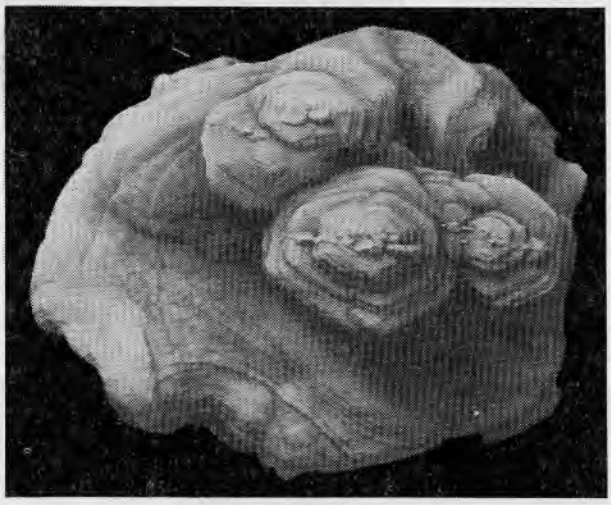
а - внешняя поверхность воронкообразного ортогексалитита с местом его прикрепления к субстрату (снизу); б - вид на внутреннюю поверхность ортогексалитита с воронкообразным углублением (см. рис. I4,б); в - особенности строения центрального элемента внутренней поверхности ортогексалитита

гексалититовой миндалины (см. рис. I) и гексалититовой корки (см. рис. 3,в). Аналогичны и особенности строения внутренних поверхностей таких малых минеральных тел, характеризующейся к тому же, как правило, единым отблеском при определенном направлении света, в том числе и от ориентированно (эпитаксиально) нарос-ших на них мелких кристалликов кварца.

Говоря о гексалититовых малых минеральных телах надо также отметить, что часто в них можно обнаружить параллельную систему перегородок (рис. I6), иногда очень тонких, вплоть до штриховых, как бы разрезающих отдельные элементы малого минерального тела на симметричные части и состоящих из почти сливного кварца, хотя и имеющих часто типичную для гексалититов внешнюю огранку от параллельно сросшихся гексалитов. Объяснить условия их возникновения и роль в гексалитовых малых минеральных телах пока не представляется возможным.



Р и с. I6. Внутренняя поверхность циклогексалитита с типичными столбчатыми элементами, с центральными углублениями. Размер 5х4,5 см. Окрестности горы Бургудий, Монголия



Р и с. I7. Выход параллельно-пластинчатых элементов на поверхность гексалититового малого минерального тела. Размер 30х22 см. Окрестности горы Буругдий, Монголия

Гексалититовые корки могут непосредственно нарастать на поверхность миндалины или на халцедон, покрывающий эту поверхность. В последнем случае наблюдается постепенный переход (часто с подворотами волокон халцедона) от сферолитовых корок халцедона к гексалититам. В тех же случаях, когда они нарастают на псевдоморфозы кальцита по арагониту (см. рис. I) на их внутренней поверхности иногда можно видеть халцедон с типичной для арагонита "трещиноватой" структурой с углом в $\sim 120/60^{\circ}$ (рис. I7).

Особо надо отметить, что для гексалититовых малых минеральных тел, выполняющих миндалины, гнезда, трещины, характерен четкий зазор между ними и вмещающим базальтом. Скорее всего это объясняется своеобразием механизма формирования гексалититов. Наиболее правдоподобным в этом случае является представление об их образовании в результате пленочной кристаллизации, развивающейся вдоль поверхности базальта, хотя никаких иных доказательств в его пользу пока нет.

Заключение

Приведенный материал показывает, что среди минералов агатопроявлений в базальтах хр. Арц-Богд в Северо-Западной Гоби, Монголия, впервые обнаружен лютецин, что является второй достоверной находкой лютецина в мире. Важно отметить, что, судя по порошкограмме, лютецин аналогичен так называемому моганиту, характеризующемуся моноклинной сингонией [13,14,23,24]. Здесь же удалось обнаружить и описать своеобразные неполнокристаллические индивиды лютецина, названные гексалитами, характеризующиеся уплощенным псевдогексагональным габитусом.

Показано, что гексалиты состоят из игольчатых или волокнистых скелетных субиндивидов, пачки которых срастаются в сагенитовую сетку, близкую к бразильскому закону двойникования кварца.

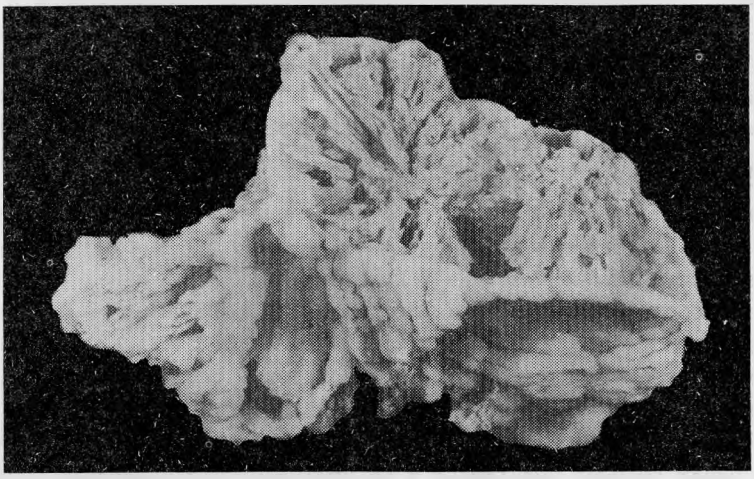
Гексалиты, помимо лютецина, содержат зоны зернистого кварца, опала и халцедона.

Впервые описаны гексалититы - лютециновые малые минеральные тела - циклогексалититы, ортогексалититы, гексалититовые миндалины, корки, гнезда, прожилки. Показано, что они состоят из параллельно сросшихся вдоль "L_3" гексалититов, обычно сдвинутых относительно друг друга по оси L_2 (перпендикулярно росту их пачки - столбика по "L_3", что объясняет все особенности морфологии гексалититов.

Специфической особенностью гексалититов являются морфологические различия их внешней и внутренней поверхности.

В заключение следует отметить, что лютециновые гексалититы широко распространены на различных агатовых месторождениях мира. При этом небольшие циклогексалититы, покрытые с поверхности корочкой одинаково ориентированных кристалликов кварца, широко распространенные на месторождениях агата Уругвая и Бразилии, издавна продаются на минералогических ярмарках, в том числе и в виде брошек, когда к одной из их сторон приклеивается булавка. В фондах Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР имеются гексалититовые миндалины из базальтов Уругвая и Камчатки (рис. I8). Гексалититы были обнаружены нами также в фондах минералогического отдела Национального музея естественной истории Смитсоновского института в Вашингтоне. Среди них следует отметить: I) образец № 8528I из окрестностей Уотервилл, Дуглас, Орегон, 2) образцы I53947, I5549 и I07498 из Аризоны (скорее всего, все из окрестностей г.Юма - 30 миль в северо-востоку от него), 3) образцы 94973 и I56665 из рудника Граунд Хог, Сильвер Сити, Гранд Каньон, Нью Мехико, 4) образцы С-I346-2, 79II8, 80730 из Сан Луис Потоси, Мексика, 5) образец Р-I594 из района Буэнос Айрес, Аргентина.

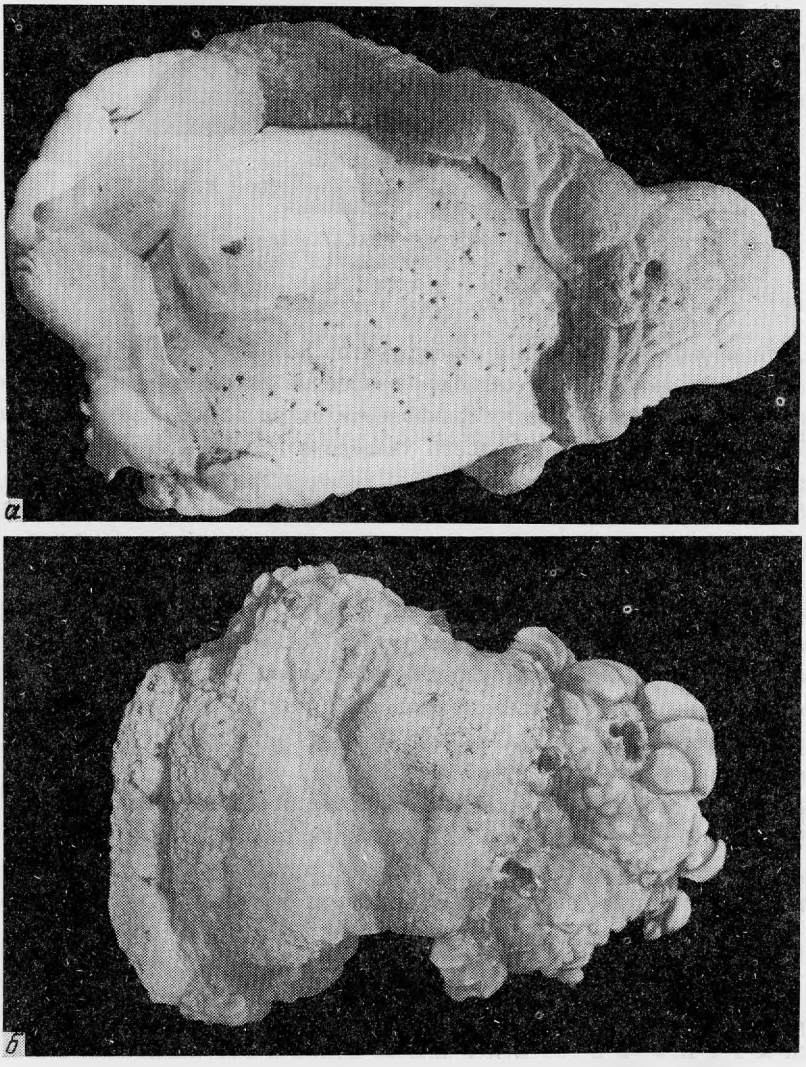
Приведенные данные говорят о том, что гексалититовая кристаллизация является сравнительно обычным явлением, хотя причины ее возникновения и остаются не ясными. При этом в зависимости от толщины лютециновых волокон гексалититовые малые минеральные тела имеют либо четкую (как в окрестностях хр.Арц-Богд), либо сглаженную морфологию (рис. I8,б), типичную для минеральных тел, состоящих из очень тонких лютециновых волокон; в некоторых случаях они переходят в халцедоновые



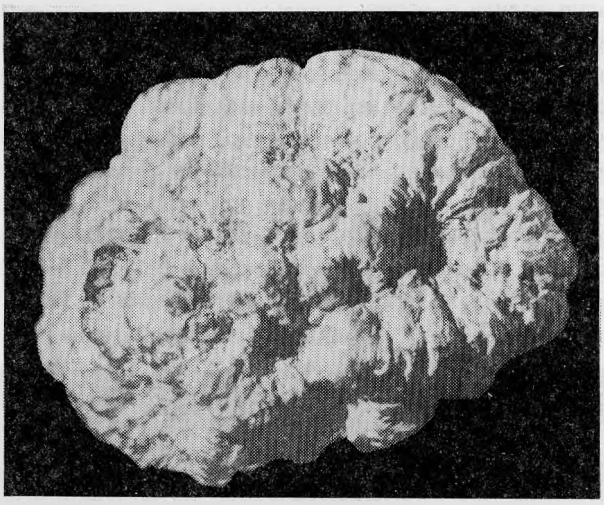
Р и с. I8. Внутренняя поверхность гексалититовой корки, нараставшей на псевдоморфозу кальцита по арагониту с трещиноватой структурой под углом 60°, сохранившейся в халцедоне. Размер 9х7 см. Окрестности горы Буругдий, Монголия

валики, состоящие из тончайших параллельно-ориентированных волокон халцедона, слагающих сферолитовые валики и корки.

Значение гексалитовой кристаллизации для лютецина, как одной из распространенных форм выделения кремнезема, очевидно, не ограничивается описанными случаями, приуроченными к агатовой минерализации в базальтах. Так, сам лютецин первоначально был найден в виде псевдоморфоз по конкрециям гипса [19]. Много сходного с гексалититовыми малыми минеральными телами по своей морфологии имеют кремнеземные конкреции из мергелей, известные под названием "цветной капусты" (рис. 19), широко распространенные на возвышенности Туаркыр в Туркмении [1], а за рубежом - в Саудовской Аравии, Йемене, Израиле (обр. 117134 Смитсоновского института) и смежных странах, в центральных штатах США [11,18,20,25,26].



Р и с. 19. Гексалитовые миндалины с других месторождений
а - размер 9,5х6,5 см. Уругвай; б - размер 12,0х10,5 см. Камчатка



Р и с. 20. Скульптура внешней поверхности лютециновой корки лютецин-халцедон-кварцевой жеоды из мергелей плато Туаркыр, Туркмения.

Отчетливо видны округло-гексагональные элементы, образованные расщепившимися пачками гексалитов. Диаметр около 6,5 см

Элементы лютециновых гексалитов и их агрегатов наблюдаются на поверхности конкреций кремнезема, выполненных халцедон-кварцевым и халцедон-кварц-кварциновым агатом из Адрасмана (Узбекистан), трактовавшихся ранее как псевдоморфозы минералов семейства кремнезема (прежде всего халцедона) по кальцитовым конкрециям. Сильно сглаженные гексалитовые скульптуры типичны для поверхности халцедоновых и халцедон-кварцевых (иногда в центре с кристаллами кальцита) конкреций в известняках, известных под Москвой в окрестностях дер. Русавкино ([7] и образцы Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР 3I098, 3I099 и др.), в Калининской обл. (обр. 3I034, 3I035), а также в Ред-Уотер-Крик, Бэд-Ландс, Южная Дакота (обр. 85286 Смитсоновского института). Таким образом, значение гексалититовой кристаллизации лютецина в природе значительно шире, причем гексалититы до сих пор часто неправильно трактовались либо как псевдоморфозы халцедона по короткопризматическим кристаллам кальцита, либо как псевдоморфозы его по ангидритовым конкрециям (случаи "цветной капусты").

Авторы считают своим долгом выразить благодарность В.В.Бакакину, И.Т.Бакуменко, Т.И.Матросовой, В.И.Фельдману за обсуждение результатов и помощь в исследовании, Н.А.Прусевич - за помощь в полевых работах, М.Малееву - за возможность использовать превосходный электронный микроскоп фирмы "Филипс".

Литература

I. Годовиков А.А., Ненашева С.Н., Павлюченко В.С., Рипинен О.И. О новых находках лютецина. Докл. АН СССР. Т. №

2. Годовиков А.А., Рипинен О.И., Моторин С.Г. Агаты / М.: Недра, I987. 368 с.

3. Годовиков А.А., Степанов В.И. Экспозиция "Формы существования минералов в природе" Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР // Новое в экспозициях Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана АН СССР, I99I.

4. Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Минералы кремнезема. М.: Мир, 1966. 430 с.

5. Костылева Е.Е. Кварц // Минералы: Справочник. М.: Наука, 1965. Т.2, вып. 2. С. 143-209.

6. Леммлейн Т.Т. Морфология и генезис кристаллов. М.: Наука, 1973. 328 с.

7. Слетов В.А. Морфология кремнистых тел в карбонатных породах Подмосковья и их генезис // Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1978. Вып. 26. С. 112-119.

8. Фрих-Хар Д.И., Лучицкая А.И. Позднемезозойские вулканиты и связанные с ними гипабиссальные интрузивы Монголии. М.: Наука, 1978. 168 с.

9. Энциклопедия полимеров. М.: Сов. энциклопедия, 1972. 1186 с.

10. Braitsch O. Über die natürlichen Faser- und Aggregationstypen beim SiO_2 ihre Verwachsunasformen Richtungsstatistik und Doppelbrechung. Heidelb. Beitr. Miner., Petr., Bd. 5, Hf. 4. 331-372.

11. Chowns T.M., Elkins J.E. The origin of quartz geodes and cauliflower cherts through the silification of angydrite nodules // Sediment. Petrol. 1974. Vol. 44. P. 855-903.

12. Dana E.S. First appendix to the sixth edition of Dana's system mineralogy. N.Y. John Wiley and sons, Inc., 1914. 75 p.

13. Flörke O.W., Flörke U., Giese U. Moganite, a new microcrystalline silica-mineral // Neues. Jb. Miner. Abh. 1984. Bd. 149, H. 3. S. 325-336.

14. Flörke O.W., Jones J.B., Schmincke H.-U. A new microcrystalline silica from Gran Canaria // Ztschr. Kristallogr. 1976. Bd. 143, H. 1/2. S. 156-165.

15. Frondel C. Characters of quartz fibers. Amer. Mineral., 1978. Vol. 63, N 1, 17-27.

16. Goldschmidt V. Atlas der Kristallformen. Heidelberg, 1922. Bd.7.

17. Groth P. Tabellarische Übersicht der Mineralien nach ihren krystallographisch-chemischen Beziehungen (4-te Auflage). Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn, 1898. 184 S.

18. Hayes J.B. Geodes and concretionts from the Missisiooian Warsaw Formation. Yeokuk Region, Iowa, Illinois, Missouti // I. Sediment. Petrol. 1964. Vol. 34. P. 123-133.

19. Lacroix A. Le gypse de Paris et les mineraux qui l'accompagnent. Nouvell. arch. Mus. d'hist. natur. Ser. 3. T. 19. 1897. S. 201-296 + Pe 8-16.

20. Matzko J.J., Nagvi J.M. Geodes from Saudi Arabia // Lapid. J. 1983. Nov. P. 1140-1156.

21. McLaren A.C., Pitkethly D.R. The twinning microstructure and growth of amethyst quartz // Physand. Chem. Miner. 1982. Vol. 8. P. 128.

22. Michel-Lêvy M., Munier-Chalmas M. Mémoire sur diverses formes affectees par le rêsean elementaire du quartz. Bull. Soc. Franc. Min., 1892. T. 15. P. 159-190+Pl. 1-IV.

23. Miehe G., Flörke O.W., Graetsch H. Moganit: Strukturvorschlag für ein neues mikrokristallines SiO_2 Mineral // Fortschr. Miner. 1986. Bd. 64, Beih. 1. S. 117.

24. Miehe G., Graetsch H., Flörke O.W. Die monokline Kristallstruktur des SiO_2-Minerals Moganit // Ztschr. Kristallogr. 1988. Bd. 182. H. 1/4. S. 183-184.

25. Mullikin K.L. The silicified evaporite syndrome; two aspects of silicifiation history of formen evaporite nodules from Southern Kentucky and Northern Tennessee // J. Sediment. Petrol. 1979. Vol. 49. 245-256.

26. Van Tuyl T.M. The stratigraphy of Mississipian Formations of Iowa // Iowa. Geol. Surv. Annu. Rep. 1922. Vol. 307. P. 330-349.

27. Wallerant M.F. Mémoire sur la quartzine et sur l'origine de la polarisation ratatoire du quartz. Bull. Soc. Franc. Min., 1897. T. 20. Nos. 1-2. S. 52-100+Pl. I-IV.

УДК 549.514.87

Ю.М.Дымков, М.Б.Власов, Г.А.Дымкова, И.Н.Егоров,
А.Г.Коршунова, Н.Г.Назаренко

ТИПОМОРФИЗМ ПРИРОДНЫХ ДИОКСИДОВ УРАНА

Типоморфизм - явление взаимосвязи разнородных физических и(или) химических свойств минерала (твердого тела), а также статистически значимого отражения генетических (технологических) параметров и пространственных координат образования минералов в их морфологии, кристаллическом строении, физических или химических свойствах, в парагенезисе, в составе включений и примесей и т.п.[I] В качестве типоморфных признаков могут быть использованы параметры кристаллической решетки, микротвердость, растворимость и такие нетривиальные признаки, как температура гомогенизации газово-жидких включений или декрепитационные кривые [2,3] (не обязательно указывающие на температуру процесса минералообразования), изотопические отношения элементов, хорошо известный U-Pb и новый Xe_S-Xe_N методы [4, 5] изотопного геологического датирования, нейтронно-активационная радиография минералов [6] и т.п.

Общие вопросы типоморфизма не раз освещались в трудах ведущих ученых - А.Е.Ферсмана, А.И.Гинзбурга, Ф.В.Чухрова, Н.П.Юшкина и др. Специальные работы по типоморфизму настурана и уранинита посвящены в основном корреляционным связям между отдельными свойствами и составом оксидов урана, а также типоморфным особенностям генераций оксидов из различных типов месторождений.

Ниже дается обзор известных и полученных нами данных о типоморфизме оксидов урана преимущественно в области взаимосвязи свойств; в Заключении приведены новые или уточненные коэффициенты корреляции между свойствами.

Типоморфные свойства настурана и уранинита

Настуран рассматривается как морфологическая (сферокристаллическая) разновидность уранинита, отличающаяся формой и строением выделений. Можно найти конкретные примеры настурана и уранинита со сходными свойствами, однако статистически они отличаются по соотношению O/U, составу примесей, парагенезису, по размеру блоков когерентного рассеяния - "кристаллитов" и (в среднем) элементарных ячеек (см. таблицу).

Природные оксиды урана относятся к высоконормативным (по терминологии Н.П.Юшкина [9]), минералам: они отличаются широким диапазоном колебаний химического состава и связанных с ним изменений физических и химических свойств. Практически все свойства оксидов урана могут нести генетическую информацию, отражающую интервалы температуры и давления, при которых происходила их кристаллизация, pH/E^h-параметры и т.д., и являются в таких случаях типоморфными признаками [10].

Непостоянство химического состава и свойств во многом связано с гетерогенностью настурана [11]. Отдельные фазы, минераграфически определенные как гомогенные, при значительных (десятки тысяч) увеличениях вновь оказываются гетерогенными. Ни в процессе исследования, ни при анализе литературного материала нет уверенности в корректности полученных и приводимых данных: гетерогенность природных оксидов урана многолика и разномасштабна и распознать ее не всегда удается. Привлекая для контроля электронные микроскопы [12] и микрозонд, можно

[I] В генетическом аспекте типоморфизм минералов - это "их способность отражать условия минералообразования в своей конституции и свойствах" [1, с. 20].

Классификация природных оксидов урана

кислородный коэффициент O/U	По данным работы [7]*: Типоморфные свойства: твердость: по Виккерсу, H_2, кгс/мм² (МПА)	твердость: по Моосу, H_o	отражение: R,% (сравнение с эталонами)	Разновидности		По данным работы [8]*: Типоморфные свойства: a_o, нм	вариант I ($UO_{2\pm x}$) O/U	вариант II (дефицит U) $U_{1-y}O_2$
2,I6-2,33	>600	>6	I6-2I	Уранинит I	α-уранинит α-настуран	0,548-0,545	I,75-2,I2	I,I4-0,94
	(>6000)		($R_{сф} \leqslant R_м \leqslant R_{мт}$)	Настуран I	β-настуран β-уранинит	0,544	2,25±0,02	0,89
2,33-2,62	400-600 (4000-6000)	5-6	I3-I6	Уранинит II	γ-настуран γ-уранинит	0,543-0,54I	2,29-2,40	0,87-0,83
			($R_{хр} \leqslant R_м \leqslant R_{сф}$)	Настуран II	δ-настуран	0,540-0,537	2,50-2,67	0,80-0,75
2,62-2,70	200-400 (2000-4000)	4-5	II-I3 ($R_ш \leqslant R_м < R_{хр}$)	Уранинит III Настуран III	δ-уранинит			
2,70-2,92	<200 (<2000)	<4,0	<II ($R_м < R_ш$)	Уранинит IV Настуран IV	γ-настуран γ-уранинит	0,536-0,535	3,00	0,67

Примечание. мт - магнетит; хр - хромат; сф - сфалерит; ш - шеелит; м - минерал (уранинит, настуран).

* С изменениями.

установить, что многие примеси в оксидах урана, обнаруженные спектральным или химическим анализом, принадлежат тончайшим включениям минералов (кварцу, карбонатам, циркону и т.п.). Идентификация их наталкивается на определенные трудности, так как при микродифракции минерал в электронном микроскопе может претерпевать фазовые превращения [I3].

Сложность точного определения степени окисленности (O/U) природных оксидов в связи с влиянием на ход химического анализа примесей железа и других элементов стимулировала поиск косвенных физических методов, способных заменить количественное определение U^{IV}, U^{VI} химическим способом. Ведущим типоморфным свойством[I] оксидов урана оказался параметр кристаллической решетки - a_0, а при минераграфических исследованиях полированных шлифов - форма и строение индивидов и агрегатов, отражение (R%), микротвердость (H кгс/мм^2). Типоморфными признаками, отражающими природу и генезис минерала, могут служить различия в поведении минералов при растворении [I5] и прокаливании [II, I6], а также в составе и свойствах продуктов технической переработки и природного изменения [II]. Рассмотрим некоторые связи между типоморфными свойствами.

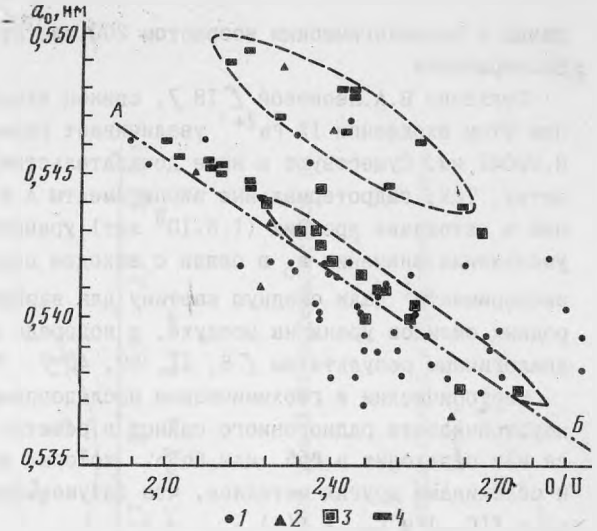
Состав-параметр a_0. Для синтетического UO_{2+x} давно установлена зависимость $a_0 = f(x)$ или $a_0 = f(O/U)$. По данным [I7], эта зависимость выражается прямой (закон Вегарда) от значения $a_0 = 0{,}547$ нм при $x = O(UO_{2,0})$ до $a_0 = 0{,}539$ нм при $x = 0{,}6$. В.А.Леонова [I8] на примере уранинитов Карелии установила, что в среднем увеличение значения x на 0,0I вызывает уменьшение a_0 на 0,00003 нм. Согласно более поздним экспериментальным и расчетным данным В.А.Алексеева и др. [I9], зависимость $a_0 = f(x)$ в UO_{2+x} может быть описана уравнением прямой: a_0(нм) = 0,54696-0,0I495x. В оксидах урана из китайских месторождений между величинами a_0 и O/U определена корреляция r= -0,75I, $r_{0,05} = 0{,}304$ [20]. По 95 пробам установленная нами корреляционная зависимость между a_0 и O/U r= -0,545, а зависимость $a_0 = f(x)$ выражается уравнением $a_0 = 0{,}568-0{,}0IIx$.

Отметим, что при определении O/U в окислах урана обычно не исследуется гомогенность анализируемых проб (наличие более окисленных фаз в синтетических продуктах или природных минералах), что приводит к неконтролируемому завышению O/U. Не всегда учитывается дефектность кристаллической решетки оксидов урана и ее влияние на понижение значения a_0. Известно [2I], что даже для синтетических оксидов начиная с $UO_{2,25}$ плотность более соответствует дефектной структуре $U_{1-y}O_2$ и только в интервале O/U от 2,00 до 2,25 - структуре внедрения кислорода (U_4O_9). Предполагается, что при облучении в реакторе UO_{2+x} образование дефектов приводит к уменьшению a_0 с 0,547 до 0,54I нм, по-видимому, за счет выхода из решетки атомов урана [22]. Неопределенность природы связи $a_0 = f(O/U)$ снижает ее информативную ценность [I2].

В работе Г.А.Сидоренко [23] на графике $a_0 = f(x)$ показаны две линейные зависимости: одна - для настуранов ($a_н$), другая - для уранинита ($a_у$). Прямые, отражающие закон Вегарда, параллельны, причем $a_н < a_у$[2]; сходные результаты получены и на более представительном материале (рис. I). Повышенные значения a_0 для уранинитов связываются с примесью Th и Pb [23, 24]. Показана [25] полная изоструктурность уранинита и торианита из пегматитов Канады: при соотношении Th:U=

[I] В понимании Е.В.Рожковой [I4].

[2] Исследованные в те годы уранениты поступали с протерозойских месторождений, в то время как настураны - преимущественно из герцинских.



Р и с. I. График O/U -коэффициент - параметр кристаллической решетки для синтетических (линия АБ) и природных оксидов различного геологического возраста

I - до I00 млн лет; 2 - I00-250; 3 - 250-420; 4 - древнее 420 млн лет

= 2,3 оно равно 0,556 нм. Для уранинитов из пегматитов вхождение в кристаллическую решетку I ат.% Th^{4+} приведет к увеличению a_0 на 0,000I2 нм (вхождение I ат.% $TR^{3+}(Y)$, наоборот, уменьшает[1] a_0 на 0,000I0 нм) [I8]. Для синтетического $U_yTh_{1-y}O_{2+x}$ при x <0,25 и 0,9 >y>0,5 параметр решетки a_0(нм) = 0,55975-0,0I40x-0,0I27 y [26].

Природные оксиды урана меняют свой химический и изотопный состав в зависимости от длительности существования (геологического возраста). По мере старения минерала с различной скоростью уменьшается содержание в нем ^{235}U и ^{238}U, накапливаются радиогенный свинец ^{207}Pb, ^{206}Pb, а также радий и другие короткоживущие продукты распада. Соотношения изотопов Pb/U, Pb/Pb, Xe/Xe и др. в связи с постоянством распада используются для определения "абсолютного" радиологического изотопного возраста минералов (T). Радиологический возраст минералов [4, 5, 27], даже если он не соответствует истинному, но характерен для определенных групп минералов, уточняет время-последовательность, т.е. позволяет четко разделить поколения и генерации минералов, и тем самым является важным типоморфным признаком, а связи, определяемые известными функциями (например, зависимость содержания свинца от геологического возраста $C_{Pb} = f(T)$, $^{207}Pb/^{235}U = f(T)$ и т.д.), - типоморфными связями.

Вопрос о форме нахождения свинца в кристаллической решетке уранинита и настурана (Pb^{2+}; Pb^{4+}; PbO, $PbUO_4$, Pb^0) - предмет дискуссий [I8, 29-3I]; сам факт такого вхождения в ненарушенных образцах [20, 33] подтверждается новыми исследованиями, а если и отрицается [I2, 28] или ставится под сомнение [34], то как будет показано ниже, недостаточно обоснованно.

Предположение Вассерштейна [35, 36] о том, что в процессе радиоактивного распада U^{4+}(R_i = 0,097 нм) замещается Pb^{4+}(R_i - 0,084 нм) и в связи с этим уменьшаются размеры элементарной ячейки (a_0), не подтвердилось. Сообщение В.Берглоера (цит. по [37]), показавшего по пяти образцам тенденцию к понижению параметра с возрастом (от a_0 = 0,542I нм для 60 млн лет до a_0 = 0,5386 нм для об-

[1] Примесь редких земель цериевой группы $TR(Ce^{4+})$ также снижает параметр решетки (твердые растворы UO_2 с a_0 = 0,547 нм и CeO_2 с a_0 = 0,54I нм) [28].

разца с радиологическим возрастом 200 млн лет), не может изменить оценки идеи Вассерштейна.

Согласно В.А.Леоновой [I8], свинец входит в виде Pb^{2+} в решетку уранинита, при этом вхождении I% Pb^{2+} увеличивает размеры ребра элементарной ячейки a_0 на 0,00042 нм. Существуют и иные доказательства влияния Pb на кристаллическую решетку. Так, гидротермальные эксперименты А.И.Тугаринова и др. [38] по нагреванию в автоклаве древних ($I,8 \cdot I0^9$ лет) уранинита и настурана показали на резкое уменьшение значения a_0 в связи с выходом свинца из решетки. Проведенные новые эксперименты[I] дали сходную картину для варисских оксидов урана. Прокаливание природных оксидов урана на воздухе, в водороде и в инертной атмосфере приводило к аналогичным результатам [8, II, 39, 40].

Изотопические и геохимические исследования [32, 4I] говорят об определенной неустойчивости радиогенного свинца в решетке оксидов урана: свинец выщелачивается или переходит в PbS или PbSe, которые затем нередко замещаются сульфидами и селенидами других металлов, что затушевывает или стирает информацию о связях $a_0 = f(C_{Pb})$ и $C_{Pb} = f(T)$.

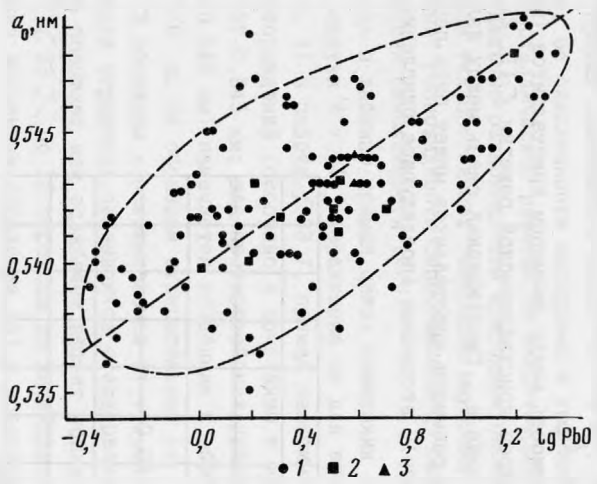
В отличие от данных [35-37] обширные материалы показывают на отчетливую тенденцию увеличения параметра a_0 с возрастом, что вытекает из установленной прямой зависимости размеров элементарной ячейки настурана от количества содержащегося в нем свинца [II, 3I, 33]. Потеря свинца при последующих явлениях перекристаллизации оксидов урана приводит к уменьшению параметра a_0 без изменения кислородного коэффициента [3I]. Для оксидов урана китайских месторождений также установлена [20] прямая зависимость между значением a_0 и содержанием PbO ($r = 0,667$; $r_{0,05} = 0,304$), отражающим геологический возраст минералов (T). Приведенные средние значения параметра a_0 для оксидов из протерозойского (0,5449 нм), палеозойского (0,5445 нм), мезозойского (0,5407 нм) и кайнозойского (0,5402 нм) возраста. Определена положительная корреляция $a_0 \times T$ ($r = 0,494$; $r_{0,05} = 0,38I$).

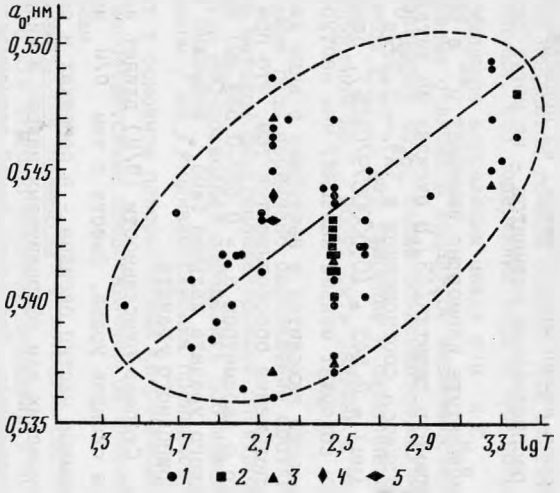
Суммируя известные данные, можно получить достаточно детальную картину влияния возраста свинца (PbO) на параметр кристаллической решетки природных оксидов урана (рис. 2). Таким образом, в синтетических и природных оксидах урана из относительно молодых (до $I00 \cdot I0^6$ лет) месторождений при полном отсутствии или малом содержании свинца параметр a_{O_2} прежде всего меняется от соотношения O/U, а в древних - от содержания свинца [2]. Явление увеличения размеров элементарных ячеек UO_{2+x} с увеличением времени радиоактивного распада (см. рис. I, 3) предлагалось использовать для ориентировочной оценки радиологического возраста метаморфизма руд природного ядерного реактора Окло [I3], однако объект для этого нельзя считать пригодным: часть ^{235}U "выгорела" в реакторе около $I,8 \cdot I0^9$ лет назад и в последующем не могла дать адекватное возрасту количество ^{206}Pb, что, естественно, могло снизить значение параметра a_0.

Исследование уранинитов (34 анализа) из природного ядерного реактора Окло [50] показало на положительную корреляцию между свинцом и кальцием ($r = 0,80$).

I Эксперименты проводились в лаборатории роста кристаллов ИГ Коми УО АН СССР (г.Сыктывкар) А.Ф.Кунцом. Параметр решетки Пршибрамского настурана с $a_0 = 0,543$ нм после двухсуточного прогревания в медных вкладышах в растворе серно-кислого уранила при 300^0C снизился до 0,54I-0,542 нм, характерного [40] для рудногорского настурана, претерпевшего киммерийский и альпийский метаморфизм.

2 Это влияние определяется соотношениями $a_0 = 0,0046 \lg PbO + 0,54$ и $a_0 = 0,0036 \lg T + 0,53$.





Р и с. 2. Зависимость размеров элементарной ячейки природных диоксидов урана от содержащегося в них свинца

I-3 - число совпавших значений

Р и с. 3. График параметр a_0-время (Т), показывающий, что основная масса свинца в природных диоксидах урана имеет радиогенное происхождение

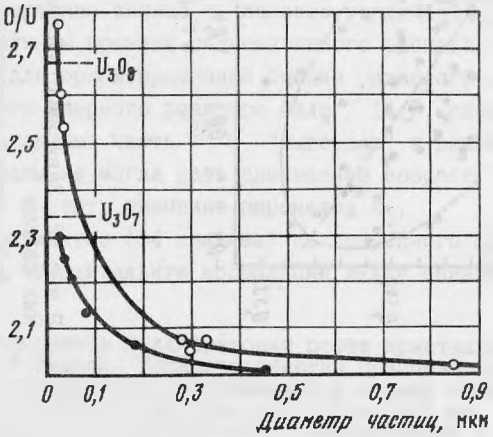
I-5 - число совпавших значений

Примесь кальция. При исследовании природных оксидов урана на микрозонде обращает на себя внимание постоянное присутствие и равномерное распределение в них кальция, особенно обильного в низкоотражающих настуранах. Предполагалось [42], что кальций образует в оксидах урана изоморфные примеси, но приведенные аргументы - растровые картины и кривые распределения элементов - не могут служить подтверждением изоморфизма.

В принципе Са при высокой температуре изоморфно замещает U^{4+} в решетке диоксида и соответственно меняет параметр решетки [43]. В оксидах из китайских месторождений это изменение характеризуется соотношением $a_0(Å) = 5{,}399e^{0{,}0059/CaO\%}$ [20], по нашим данным: a_0(нм) = 0,542 + (0,0000679/CaO%), однако известно что высокотемпературные ураниниты содержат меньше кальция, чем настураны [20, 37, 42]. Предполагается, что кальций находится в настуране в виде дисперсного ураната кальция [II]. Это предположение обосновывается тем, что при прокаливании таких оксидов урана (особенно с параметром a_0 = 0,537-0,539 нм) выше 1150°С появляются четкие линии кубического ураната кальция $CaUO_4$, возможно за счет перекристаллизации дисперсного природного ураната.

Окисленность и размеры частиц. Степень окисленности (O/U) влияет на многие химические и физические параметры оксидов урана. Вместе с тем O/U находится в функциональной зависимости от размера частиц оксидов - в порошках и осадках, от удельной поверхности, в кристаллических или сферолитовых макро- и микровыделениях от размера слагающих их кристаллитов. Появление такой зависимости связано с процессами диффузии кислорода с поверхности к ядру частицы. Д.С.Андерсон [44] привел несколько моделей механизма диффузионного окисления зерна окисла UO_2. Суммарный эффект такого окисления частиц порошков на воздухе отображен на хорошо известном [45] графике (рис. 4).

Существует также прямая зависимость между размером кристаллитов (микроблоков когерентного рассеяния) и параметром кристаллической решетки [II, 23]: чем меньше размер кристаллитов, тем ниже a_0. Генетическая связь между явлениями здесь неоднозначна, так как уменьшение размеров кристаллитов может быть первичным (образование при высоких pH, например), вторичным (последующее окисление, диспергация) или гетерогенным.



Р и с. 4. Зависимость отношения O/U от величины частиц оксидов урана (на воздухе), по данным различных авторов (из [45])

Дисперсность определяет многие физические свойства, в частности снижает температуру фазового превращения $UO_{2+x} \longrightarrow U_3O_8$ при прокаливании минерала на воздухе [II]. С дисперсностью связано не только повышение отношения O/U, но и количество в минерале воды. Природные оксиды гетерогенны, и содержание воды в отдельных фазах не поддается точной оценке. Для синтетических оксидов В.А.Алексеев [46] установил, что содержание воды в них возрастает по мере увеличения O/U, причем коэффициент корреляции между O/U и C_{H_2O} очень высок ($r = 0,93$).

Определенные отличия в характере зависимости $a_0 = f(O/U)$ для дисперсной и окристаллизованной UO_{2+x} также объясняются наличием переокисленного слоя [I9]. Предполагается [47], что уширение и смещение дифракционных линий в рентгенограммах дисперсной UO_{2+x} могут быть связаны с ее гетерогенностью и многофазностью.

В последние годы проведено определение состава синтетических и природных оксидов урана методом рентгеноэлектронной спектроскопии (РЭС) [48, 49]. Полагают, что метод РЭС позволяет определить соотношение ионов U(IV), U(V) и U(VI) в оксиде в целом [49], однако глубина проникновения (и соответственно анализа) захватывает в основном поверхностный (переокисленный) слой частицы. Этим можно объяснить несоответствие представлений об окисленности UO_{2+x} по химической и РЭС методикам.

Минераграфические параметры. Физическое состояние и химизм оксидов урана (прежде всего O/U) можно косвенно определить по таким минераграфическим параметрам, как показатель отражения (R%) и значение микротвердости (H) минерала. С первых же шагов минераграфического исследования была установлена четкая обратная зависимость между R, H, с одной стороны, и O/U - с другой [7] и соответственно прямая зависимость между R, H и a_0. По отражению и микротвердости можно судить об окисленности настурана и уранинита и ориентировочно определить параметр кристаллической решетки.По микротвердости и отражению иногда выделяются [7] отдельные разновидности природных оксидов урана, обозначенные римскими цифрами (чаще так обозначают генерации минерала) (см. таблицу). В таблице "минераграфические" разновидности сопоставлены с "рентгенографическими" разновидностями по степени окисленности (O/U).

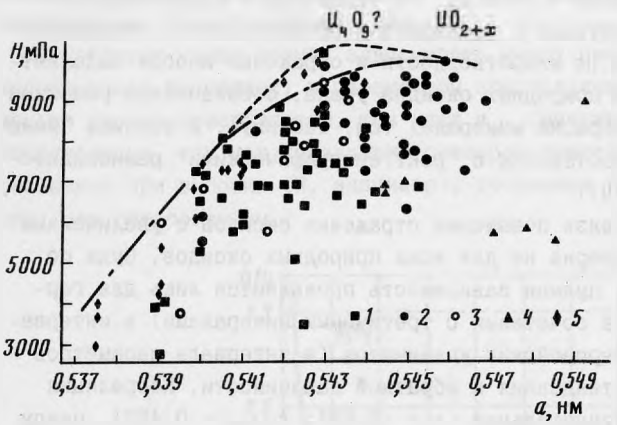
Показанная в таблице прямая связь повышения отражения оксидов с увеличением параметра решетки $R = f(a_0)$ характерна не для всех природных оксидов. Судя по данным (рис. 4) в работе [33], прямая зависимость проявляется лишь для герцинских месторождений (особенно в сочетании с третичными минералами) в интервале $a_0 = 0,537$-$0,545$ нм; для протерозойских уранинитов (в интервале параметров $a_0 = 0,544$-$0,548$ нм) намечается тенденция к обратной зависимости. Корреляция между R и O/U по 24 образцам отрицательная ($r = -0,573$; $r_{0,05} = 0,423$), между R и a_0 по 23 образцам - положительная ($r = 0,645$; $r_{0,05} = 0,423$) [20]. Колебания показателя отражения связываются с содержанием примесей: Ca, Th и Si понижают, а Pb повышает или ослабляет эффект понижения R% по мере увеличения в окислах U^{6+} [33]. По I8 образцам из китайских месторождений установлена зависимость между значением отражения (R) и содержанием в оксидах урана PbO, характеризующаяся уравнением $R = 14,2573 + 2,91261 \log PbO\%$ [20].

Некоторые древние минералы с большим количеством свинца при значении $a_0 = 0,548$ нм имеют пониженное отражение (возможно, за счет примеси коффинита). Кривые отражения для всех изученных настуранов по форме близки (имеют небольшое повышение R% в области 450-460 нм) [II].

Диаметр светового зонда 5 мкм слишком велик для оценки отражения отдельных фаз гетерогенных настуранов, так как величина измененных или сохранившихся мельчайших субиндивидов или кристаллических волокон сферокристаллов обычно не превышает I мкм. Однако с помощью спектрофотометра можно интергративно количественно оценить загрязненность оксидов микровключениями, повышающими (галенит и другие сульфиды) или понижающими (коффинит, вторичные минералы) показатели отражения [51].

Зависимость между отражением и микротвердостью для оксидов урана, согласно В.А.Алексееву [46], может быть выражена уравнением прямой (для λ = 580 нм): R = 0,0137 H + 7,71 (R%; H кгс/мм^2). Микротвердость не только характеризует степень окисленности настурана и уранинита, но является также показателем физического состояния минералов (дисперсность, наличие микродефектов, дислокаций и др.) и именно через него связана с коэффициентом O/U (и соответственно с a_0).

Для синтетических оксидов микротвердость повышается по мере окисления диоксида до $UO_{2,25}$ [52] в связи с появлением в кристаллической решетке UO_{2+x} зародышей упорядоченной фазы U_4O_9, а затем - с полным переходом оксида в U_4O_9. Дальнейшее окисление, вызывающее усиление дефектности решетки приводит к падению значения микротвердости. В природных оксидах урана установлены признаки заметного повышения микротвердости при составах, близких к $UO_{2,25}$ (a_0 = 0,543 - 0,544 нм), что рассматривается как подтверждение предположения Бермана [27] и др. [8, II] о существовании U_4O_9 в природе. Новые данные об оксидах урана с высокими параметрами решетки из Mo-U месторождений (рис. 5) не противоречат этому предположению, но показывают, что высокие значения твердости присущи и сравнительно молодым (I45·I0^6 лет) минералам с минимальным O/U.



Р и с. 5. Зависимость микротвердости минералов (H) от параметра кристаллической решетки

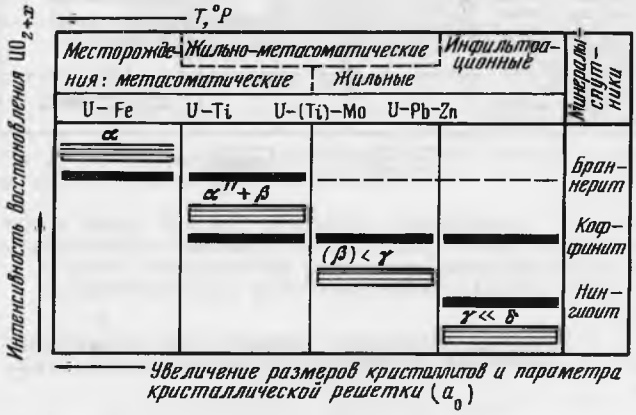
I - из мезозойских U-Mo жил; 2 - из герцинских U-Mo-жил; 3 - Желтореченское U-Fe-месторождение; 4 - Рудные горы; 5 - Пршибрам, Чехословакия

Микротвердость, отражение и параметр решетки важны для оценки многих технологических свойств и прежде всего способности к растворению [15], но они могут быть различными для отдельных зон в одном и том же сферолите настурана. Для сравнительной интерпретации типоморфных признаков необходимо изучение "анатомии" кристаллов и сферолитов оксидов урана и четкое представление об их онтогенезисе [1].

Типоморфизм оксидов урана и рудообразование

Состав и свойства оксидов урана не только тесно связаны между собой, но в целом отражают условия образования минералов. Более того, сами оксиды урана можно использовать как типоморфные признаки рудообразующих процессов различных масшта-

бов или как "реперные" минералы. На рис. 6 показана попытка обобщения данных по типоморфным особенностям настурана в масштабе групп эндогенных месторождений; здесь же приведены типоморфные ассоциации главнейших минералов урана ("генетический типоморфизм" Н.П.Юшкина [9]). Многие месторождения имеют длительную геологическую историю и по мере изменения P-T-C-параметров процесса минералообразования, в них могут появляться и более низкотемпературные (а при реювенации и высокотемпературные) разновидности. Особенно наглядны различия в свойствах оксидов урана из различных эпох [20, 33, 53] ("хронотипоморфизм" [9]).



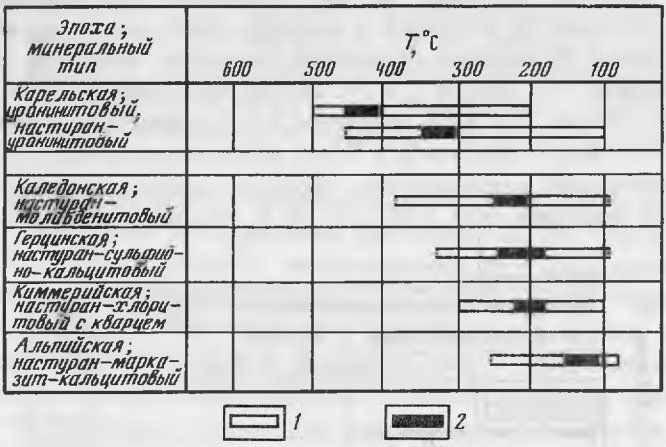
Р и с. 6. Типоморфизм оксидов урана, образованных в месторождениях различных генетических типов [53]

α, β, γ, δ - разновидность диоксидов (см. табл. 1)

Минералогические эксперименты показали на прямую зависимость величины O/U в оксидах урана от pH раствора: кислородный коэффициент оксидов увеличивается по мере возрастания щелочности растворов [54-56], несмотря на рост фугитивности водорода [56]. Подобного рода явление, очевидно, связано с увеличением дисперсности частиц в осадках: при высокой фугитивности водорода возрастает пересыщение, резко растет число зародышей и, следовательно, уменьшаются их размеры. С уменьшением размера частиц UO_{2+x} растет их окисленность (O/U) (см. рис. 3).

Интервалы температур формирования оксидов урана, выявленные декрепетационными и гомогенизационными способами [3], показывают, что в металлогеническом плане температура служит типоморфным признаком эпох минералообразования (рис. 7). Поскольку размер кристаллитов оксидов увеличивается с температурой, при прочих равных условиях, параметр a_0 также служит указателем температуры минералообразования. Так, в китайских месторождениях размеры a_0 уранинитов, образовавшихся в гранитах и пегматитах в интервале 500-550°C, обычно колеблются в пределах 0,5466-0,5488 нм, в интервале 300-400°C - 0,5445-0,5460 нм. Настураны, образовавшиеся при $t < 150^{\circ}C$ в кремнисто-карбонатно-глинистых породах и песчаниках имеют a_0 = 0,5364-0,5405 нм [20].

Эволюцию физических и химических признаков минералов во времени, подобно онтогенезу минералов (развитие индивидов), можно было бы определить как типогенез минералов. С позиций "вещественного" понимания понятия "парагенезис" типоморфизм можно определить как парагенезис признаков, но в отличие от парагенезиса минералов или парагенезиса кристаллографических форм, где мы имеем дело со ста-



Р и с. 7. Температуры отложения окислов урана и температурный режим формирования урановых гидротермальных месторождений различного минерального типа в основные металлогенические эпохи рудообразования [3]

I - интервал температур формирования месторождений; 2 - интервал температур отложения оксидов урана

тистически устойчивыми ассоциациями однородных объектов (минеральных видов в первом случае или кристаллических индивидов - во втором), в нем увязываются признаки, нередко принадлежащие к различным видам и классам объектов или явлений.

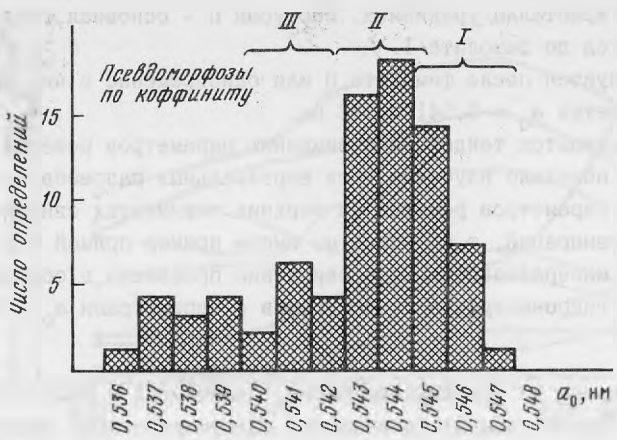
Минерал, имеющий четкие и постоянные парагенетические координаты[I] в минеральных ассоциациях, может быть сам использован как типоморфный признак ("типоморфный минерал","минералогический репер" и т.д.) для индивидуализации более крупных минералогических объектов: рудных жил, месторождений, формаций, а также для выделения этапов, стадий и ступеней минералообразования. В этом плане известны многочисленные исследования по минералогии урановых месторождений, особенно жильных, где поколения и генерации настурана выделены не только по парагенетическим параметрам, по морфологии и структуре выделений, a_0 и т.п., но и по изотопному (преимущественно U/Pb)возрасту.

Для относительно молодых Mo-U месторождений типоморфные особенности выявлены (с учетом отбраковки экзогенно-окисленного материала) по параметрам кристаллической решетки (рис. 8) и морфогенетическим признакам (**см. также: Д ы м к о в Ю.М. и др. // Геохимия. I990. № 8. С.I084**).

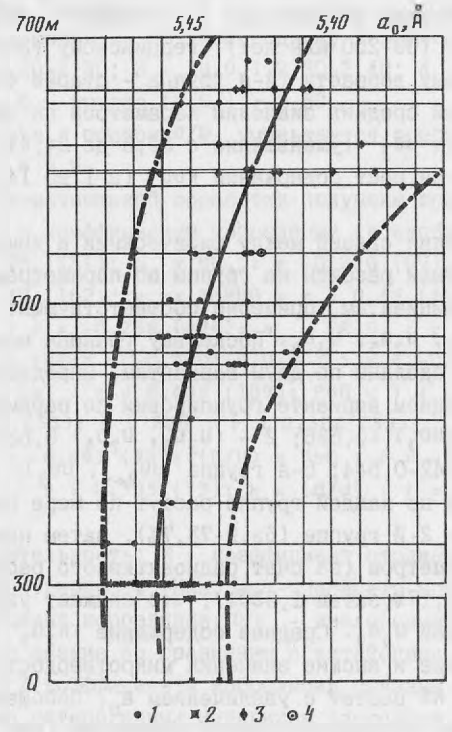
Настуран I (и уранинит I) - кривогранные (округлые) и плоскогранно-кривогранные кристаллы с концентрической зональностью и мелкие сферокристаллы, ассоциирующиеся с браннеритом и коффинитом, имеют параметр кристаллической решетки a_0 = 0,547-0,546 нм.

Настуран П и уранинит П представляют собой сферокристаллические сферолиты, сферолитовые почковидные корки с a_0 = 0,543-0,544 нм. Параметр решетки настурана повышается от центра к внешним зонам, где на СЭМ обнаружены мельчай-

[I] Парагенетические координаты - место в общем ряду последовательности, т.е. временная позиция минерала в минеральной ассоциации [53].



Р и с. 8. Типоморфизм генераций (I-Ш) диоксида урана из U-Mo -ассоциации. Гистограмма



Р и с. 9. Схема зональности участка U-Mo-месторождения по образцам В.М.Вампилова, В.С.Воробьева, И.Н.Егорова

I - трахидациты; 2 - граниты; 3 - фельзиты; 4 - андезито-базальты

шие октаэдрические кристаллы уранинита. Настуран П - основная генерация прожилковых руд, образуется до фемолита I.

Настуран Ш образуется после фемолита П или одновременно с ним, имеет параметр кристаллической решетки a_0 = 0,541-0,542 нм.

В целом устанавливается тенденция к снижению параметров решетки во времени (типогенез) и, как показало изучение трех вертикальных разрезов, в пространстве (рис. 9). Снижение параметров решетки на верхних горизонтах свидетельствует о появлении поздних генераций, т.е. здесь мы имеем пример прямой "пульсационной" зональности рудной минерализации. Зона окисления проявлена в образовании на верхних горизонтах гидронастурана и настуранов с параметрами a_0 = 0,540 нм.

Заключение

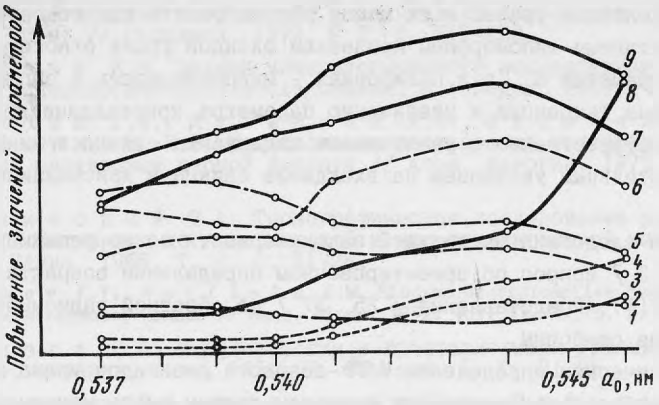
Аналитические данные из большинства работ, включенных в обзор, были статистически обработаны[1]. Массив данных не включает материалы старых известных исследований в этой области и ограничен сведениями из цитированных работ [II, 20, 33] с добавлениями [57-60]. Исходная совокупность состояла из 184 проб, охарактеризованных 15 параметрами. Некоторые признаки не являлись сквозными, т.е. для ряда проб не определялись. Такие "пропущенные" значения особым образом помечались и далее исключались из рассмотрения.

Для статистического анализа природные оксиды урана разбиты на возрастные группы, примерно соответствующие альпийскому (I-я группа - моложе 100 млн лет), киммерийскому (2-я группа - 100-250 млн лет), герцинскому (3-я группа - 250-420 млн лет) и более древнему возрасту (4-я группа - старше 420 млн лет). Определенная тенденция изменений средних значений параметров по группам с увеличением возраста выявляется для UO_3 (уменьшение с 39,3 до 24,4%), TR_2O_3 (увеличение с 0,45 до 1,01%), заметен рост содержания PbO (с 1 до 14,5%), рост a_0, R, уменьшение микротвердости.

Для выявления или уточнения связей между физическими и химическими свойствами оксидов урана минералы были разбиты на группы по параметрам кристаллической решетки и кислородным коэффициентам, примерно соответствующие стехиометрическим оксидам UO_2, U_4O_9, U_3O_7, U_2O_5, U_3O_8. Поскольку граница между группами недостаточно четкая, расчеты сделаны по двум вариантам. Определенные закономерности выявляются лишь при одном варианте группировки по параметру кристаллической решетки (a_0, нм): 1 - (UO_3) ≤0,536; 2 - (U_3O_8, U_2O_5) 0,536-0,540; 3 - (U_3O_7) 0,540-0,542; 4 - (U_4O_9) 0,542-0,544; 5-я группа (UO_{2+x}, UO_2)> 0,544.

Средние содержания урана по каждой группе растут по мере повышения a_0, как это характерно для U_4O_9 во 2-й группе (65,9-73,7%), затем падает (до 63,8%) у оксида с более высоким параметром (за счет радиоактивного распада). Однако также ведет себя и ThO_2(0,09-2,17%,затем 1,330%), что снижает уверенность во влиянии на параметр упорядоченной U_4O_9. Среднее содержание TR_2O_3 растет с увеличением a_0 (0,27-3,17%). Средние и высшие значения микротвердости растут до a_0 = 0,544 нм, затем снижаются, R% растет с увеличением a_0. Обобщенные значения (по двум группам) дают еще более наглядную картину изменений (рис. 10).

[1] Все статистические расчеты были выполнены на ЭВМ ЕС-1035 с помощью пакета программ SAS ; использовались следующие процедуры пакета: печать таблицы исходной совокупности PRINT ; расчет статистических характеристик выборки MEANS ; графическое отображение зависимости двух переменных PLOT; линейная регрессия REG ; расчет парных коэффициентов корреляции CORR .



Р и с. I0. Зависимость значений средних содержаний и осредненных значений параметров (O:U, H) от величины a_0

1 - ThO_2; 2 - Fe_2O_3; 3 - UO_3; 4 - TR_2O_3; % - O:U; 6 - UO_2; 7 - $H_{ср}$; 8 - PbO; 9 - $H_{макс}$

Из двух вариантов разделения по O/U наиболее соответствует известным закономерностям следующая разбивка по кислородному коэффициенту (O:U):I - (UO_{2+x}) ≤ 2,20; 2 - (U_4O_9) 2,20-2,30; 3 - (U_3O_7) 2,30-2,40; 4 - (U_2O_5) 2,40-2,50; 5 - (U_8O_{21}) 2,50-2,60; 6 - группа (U_3O_8) > 2,60.

При такой разбивке с ростом O/U уменьшается среднее содержание в группах UO_2%, снижаются a_0, R и H.

В результате математической обработки получены графики (часть из них приводится на рис. I-3) и коэффициенты корреляции (в скобках - величина выборки): a_0 x UO_2 : r = 0,I73 (I5I); a_0 x UO_3 : r -0,3I6 (97); a_0 x ThO_2 : r = 0,400 (6I); a_0 x PbO : r = 0,647 (I52); a_0 x lgPbO : r = 0,69 (152); a_0 x CaO : r = -0,245 (124); a_0 x lgCaO : r = -0,268 (124); a_0 x TR_2O_3 : r = 0,447 (53); a_0 x lgT : r = 0,64 (111); O:U-lgT:r = -0,420; O:U - T : r = -0,356; a_0 x (O/U) : r = -0,545 (95); PbO x lgT : r = 0,689 (109); PbO x T : r = 0,343 (167); R x lgPbO:r = 0,550 (53); R x PbO : r = 0,508 (53); (O/U) x lgPbO : r = -0,443 (95); (O/U) x PbO : r = -0,341 (95); a_0 x R : r = 0,702 (57); a_0 x H : r = 0,305 (33); H x (O/U) : r = -0,57 (26); PbO x CaO:r = 0,162 (80).

Здесь T - время-длительность; R - коэффициент отражения от полированной поверхности, %; H - микротвердость, КПа; a_0 - параметр кристаллической решетки оксида, нм; r - коэффициент корреляции; O/U - кислородный коэффициент.

Некоторые, более низкие по сравнению с китайскими (кстати, более ограниченными) данными [20] коэффициенты корреляции связаны с более широким вовлечением в рассмотрение гетерогенных индивидов диоксидов урана. В связи с гетерогенностью минералов не рассматривался и такой обычный для характеристики оксидов урана параметр, как плотность.

Обзор опубликованных в последнее десятилетие работ по типоморфизму диоксидов урана показал:

I. На материале, включающем и обширные новые данные, подтверждены и статистически уточнены почти все известные ранее зависимости между основными свойствами

(параметрами) диоксидов урана, и их можно рассматривать как основополагающие. К наиболее информативным типоморфным признакам оксидов урана относится параметр кристаллической решетки a_0, а в полировках - микротвердость и отражение.

2. Подтверждена тенденция к увеличению параметра кристаллической решетки a_0 с возрастом и соответственно с увеличением содержания свинца в минералах, что является дополнительным указанием на вхождение свинца в кристаллическую решетку UO_{2+x}.

3. В качестве следствия предыдущей закономерности можно реанимировать ранее поставленный [13] вопрос об ориентировочном определении возраста по прямой зависимости $a_0 = f(T)$. Представления [35, 37] об обратной зависимости между a_0 и T в общем плане ошибочны.

4. При изотопическом определении U/Pb-возраста диоксидов урана из древних месторождений наиболее сохранившиеся минералы должны иметь максимально высокий параметр a_0; для молодых месторождений этот показатель не является решающим.

5. Ближайшая и все еще не решенная задача исследования природных и синтетических оксидов урана - разработка методов получения монофазного вещества. Необходимо более широкое привлечение нетривиальных (для минералогии) физических методов и выявление новых типоморфных признаков и связей. Постоянная задача в общем плане - выявление связей между типоморфными свойствами оксидов урана и геологическими, геохимическими, парагенетическими и физико-химическими условиями их образования.

Авторы признательны Л.И.Ивановой за участие в математической обработке статистического материала.

Литература

1. Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А. Онтогенический метод в минералогии. Киев: Наук. думка, 1988. 120 с.

2. Тугаринов А.И., Наумов В.Б. Термобарические условия формирования гидротермальных урановых месторождений // Геохимия. 1969. № 2. С. 131-147.

3. Котов Е.И., Тимофеев А.В., Мельников И.В., Крылова Т.Л. Температурные условия формирования гидротермальных окислов урана в различные эпохи рудообразования // Известия АН СССР. Сер. геол. 1987. № 11. С. 115-124.

4. Шуколюков Ю.А., Мешик А.П., Ассонов С.С., Голубев В.Н. Применение Xe_S-Xe_N метода для датирования молодой урановой минерализации // Докл. АН СССР. 1985. Т. 283, № 1. С. 203-208.

5. Shukolyukov Yu.A., Meshick A.P. Application of xenon isotopes for dating pitchblendes // Chemical. Geol. 1987. Vol. 66. P. 123-136.

6. Попова В.И. Основы метода нейтронно-активационной радиографии минералов. Свердловск: УО АН СССР. 1988. 61 с.

7. Соболева М.В., Пудовкина И.А. Минералы урана. М.:Госгеолтехиздат, 1957. 408 с.

8. Дымков Ю.М. Природа урановой смоляной руды. М.: Атомиздат, 1973. 240 с.

9. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л.: Наука, 1977. 291 с.

10. Черников А.А. Поведение урана в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1981. 207 с.

11. Дымкова Г.А., Прибытков П.В., Назаренко Н.Г. и др. Исследование гетерогенности настуранов и продуктов их термической переработки // Новые данные о минералах. М.: Наука, 1983. Вып. 31. С. 51-65.

12. Сидоренко Г.А., Горобец Б.С., Дубинчук В.Т. Современные методы минералогического анализа урановых руд. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с.

I3. Дымков Ю.М., Павлов Е.Г., Завьялов Е.Н. Фазовый состав и морфогенетические особенности уранинита из природного ядерного реактора Окло (Габон) // Геохимия. I979. № 2. С. 2I7-228.

I4. Рожкова Е.В. Задачи минералогического исследования // Современные методы минералогического исследования. М.: Недра, I969. Ч. I. С. 5-I6.

I5. Дымкова Г.А., Кузьмина Л.Н., Несмеянова Г.М., Прибытков П.В. Исследование растворения настурана в компактных образцах растворами серной кислоты // Атом. энергия. I973. Т. 35, вып. I. с. 48.

I6. Киркинский В.А. Термографическое исследование уранинитов и настуранов // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, I966. Т. 4. С. 2I-28.

I7. Brooker E.Y., Nuffield E.W. Studies of radioactive compounds:IV.Pitchblende from lake Athabasca, Canada // Amer. Miner. 1952. Vol. 37, N 5/6. P. 363-385.

I8. Леонова В.А. К минералогии и кристаллохимии уранинитов // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. I959. Ч. 88, вып. I. С. 2I-25.

I9. Алексеев В.А., Ананьева Л.А., Рафальский Р.П. Зависимость параметра кристаллической решетки UO_{2+x} от состава // Изв. АН СССР. Сер. геол. I979. № 9. С. 80-89.

20. Guoging Xu, Aizhen Wang, Qifand Gu et al. Some characteristics of uranium oxides in China//Beijing: Uranium. Geol. Res. Inst. 1980. 15 p.

21. Willson W.B. High-pressure high-temperature investigation of the uranium-oxygen System // I. Inorg. and Nucl. Chem. 1961. Vol. 19, p. 212-222.

22. Konobeevski S.T. New Nuclear Materials uncluding nonmetall Fuels. Vienna: JAEA, 1963, 1. P. 269.

23. Сидоренко Г.А. Рентгенографическое изучение природных окислов урана // Геохимия. I958. № I. С. 22-38.

24. Хейнрих Э.У. Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья. М.: Изд-во иностр. лит., I962. 604 с.

25. Robinson S.C., Sabina A.P. Uraninite and thorianite from Ontario and Quabec // Amer. Mineral. 1955. Vol. 40, N 7/8. P. 624-633.

26. Воронов Н.М., Софронова Р.М., Войтехова Е.А. Высокотемпературная химия окислов урана и их соединений. М.: Атомиздат, I97I. 360 с.

27. Тугаринов А.М. Общая геохимия. М.: Атомиздат, I973. 288 с.

28. Сидоренко Г.А. Кристаллохимия минералов урана. М.: Атомиздат, I978. 2I6 с.

29. Berman R. The role of lead and excess oxygen in uraninite // Amer. Miner. 1957. Vol. 42, N 11/12. P. 705-731.

30. Киркинский В.А. О кристаллохимии природных и искусственных окислов урана // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, I967. Т. 5. С. 90-I03.

3I. Киркинский В.А., Макаров Е.С. Форма нахождения свинца в уранинитах и настуранах по экспериментальным данным // Проблемы геохимии. М.: Наука, I965. С. 463-472.

32. Тарханов А.В., Жукова В.И. Генезис ореолов радиогенного свинца докембрийских месторождений // Атомная энергия. I973. Т. 34, вып. 6. С. 455-46I.

33. Cathelineau M., Cuney M., Leroy J., Ihote F. et al. Caracteres mineralogiques des pechbendes de la province hercynienne d'Europe//Vein-typ and similar uranium deposits in rocks younger than proterozoic. Vienna: IAEA, 1982. P. 159-176.

34. Ершов В.М., Первухина К.И., Ивонина Т.Ю. О радиогенном свинце в настуранах // Минералогия и петрография Урала. Свердловск, СГИ, I975. Вып. I06. С. II0-II8.

35. Wasserstein B. Cube-edges af uraninite as a criterion of age? // Nature. 1951. Vol. 168. P. 380.

36. Wasserstein B. Ages of uraninite by a new method // Nature. 1954. Vol. 174. P. 1004-1005.

37. Haji-Vassiliou A. Uranium mineralisation-uraninite // Mineral. Rec. 1974. Vol. 5, N 2. P. 79-86.

38. Тугаринов А.И., Бибикова Е.В., Зыков С.И. О метаморфизме урановых месторождений и отдельных урановых минералов // Атом. энергия. 1964. Т. 16, вып. 4. С. 332.

39. Дымков Ю.М., Дымкова Г.А., Назаренко Н.Г., Прибытков П.В. Минералогическое и рентгенографическое изучение продуктов прокаливания и восстановления природных окислов урана // Месторождения урана: зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат. 1970. С. 274-291.

40. Киркинский В.А. Природа продуктов прокаливания уранинитов и настуранов // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, 1966. Т. 4. С. 30-47.

41. Павшуков В.В., Комлев Л.В., Андерсон Е.Б., Смыслова И.Г. Поведение радиогенного свинца в некоторых урановых минералах // Распределение радиоактивных элементов и их изотопов в земной коре. М.: Недра, 1978. С. 84-95.

42. Стрельцов В.А., Бороних ин В.А., Тишкин А.И. О составе уранинита из месторождений пегматитового и уран-молибденового типов // Атом. энергия. 1956. Т. 37, вып. 4. С. 306-315.

43. Alberman K.B., Blakey R.C., Anderson I.S. The oxids of uranium. Part II. Binary System UO_2-CaO // Chem. Soc. London G. 1951. P. 1351-1356.

44. Anderson I.S. Recent work on chemistry of uranium oxides // Bull. Soc. chim. France. 1953. Vol. 20, N 9. P. 781.

45. Uranium dioxide: properties and nuclear application / Ed. I. Belle. US A EC. Wash. (D.C.): USAEC, 1961.

46. Алексеев В.А., Рафальский Р.П. Синтетический настуран: состав, строение и некоторые свойства // Атом. энергия. 1976. Т. 40. Вып. 1. С. 73-76.

47. Макаров Е.С. Гомологический ряд окислов урана // Докл. АН СССР. 1961 Т. 139, № 2. С. 612-615.

48. Тетерин Ю.А., Кулаков В.М. и др. Изучение степени окисления урана в настуранах методом рентгеноэлектронной спектроскопии // Докл. АН СССР, 1980. Т. 255, № 2. С. 434-437.

49. Teterin Yr.A., Kulakov V.M., Melnikov I.V. et al. A study of synthetic and natural uranium oxides by X-ray photoelectron spectroscopy // Phys. and Chem. Miner. 1981. N 7. P. 151-158.

50. Brancke G.R., Chantrat F.C., Guillemant A.P., Pouget R. Donnees chimiques et mineralogiques sur le gisement d'Oklo // The Oklo phenomen. Vienna: IAEA, 1975. SM Ref. 204/17. 16 p.

51. Рябева Е.Г. О микронеоднородности настурана // Изв. вузов. Геология и разведка, 1982. № 1. С. 42-46.

52. Shaner B.E.// Metallographic determination of the UO_2-U_4O_9 phase diagram // J. Nucl. Mater., 1960. Vol. 2, N 2. P. 110.

53. Дымков Ю.М. Парагенезис минералов ураноносных жил. М.: Недра, 1985. 207 с.

54. Фрондель К., Уикс А. Современные успехи в области описательной минералогии урана // Тр. 2-й Междунар. Конф. по мирному использованию атомной энергии. М.: Атомиздат, 1959. Т. 8. С. 147-160.

55. Рафальский Р.П. Физико-химическое исследование условий образования урановых руд. М.: Атомиздат, 1973. 278 с.

56. Агапова Г.Ф., Шмариович Е.М., Хитаров Д.Н., Воробьев И.М. Экспериментальное изучение поведения урана в термальных щелочных сульфидно-карбонатных растворах // Геология руд.месторождений. 1981. № 3. С. 87-98.

57. Соловьева Ф.И. Замещение амфибола минералами урана // Конституция и свойства минералов II. Киев: Наук. думка, 1967. С. 155-162.

58. Grandstaff D.E. A kinetic study of the dissolution of uraninite // Econ. geol. 1976. Vol. 71, N 8. P. 1493-1506.

59. Макаров Е.С., Липова И.М., Долманова И.Ф., Меликьян А.А. Кристаллическое строение уранинитов и настуранов // Геохимия. 1960. Vol. 3. С. 193.

60. Жукова В.И. Минералогия и первичная зональность гидротермально-метасоматического месторождения урана в железорудной формации докембрия // Месторождения урана: Зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат, 1970. С. 5-34.

УДК 539.351:(553.065+553.405)

Ю.М.Дымков, Б.И.Рыжов, В.Д.Бегизов, Л.С.Дубакина,
Е.Н.Завьялов, В.Г.Рябева, М.В.Цветкова

МГРИИТ, Bi-ПЕТРОВИЦИТ И АССОЦИИРУЮЩИЕСЯ С НИМИ СЕЛЕНИДЫ ИЗ КАРБОНАТНЫХ ЖИЛ РУДНЫХ ГОР

В статье приведены сравнительные данные по мгрииту и синтетическому аналогу Cu_3AsSe_3, а также новые сведения о минераграфических свойствах сопровождающих мгрииит селенидов Cu, Sb, Pb, Ag, Tl. Детально охарактеризована новая Bi-разновидность петровицита, расшифрованы псевдоморфозы распада по метастабильному минералу типа R_3Se_2, обосновано предположение о существовании нового Cu, Pb, Bi-селенида.

Селениды в ураноносных жилах Центральной Европы - объект активного исследования минералогов. Достаточно упомянуть здесь месторождения Франции (Шамеан), Польши (Судеты), Германии (Шлема-Альберода), Чехо-Словакии (Предбожице, Рожна и др.). В данной статье приводятся новые материалы о селенидах из бурошпатовых жил месторождения Шлема-Альберода[I], посвященные мгрииту и ассоциирующимися с ним минералам, а также новой Bi-разновидности петровицита.

Аналитические работы проводились в разное время в лабораториях ИГЕМ АН СССР, ВИМС, МГРИ, ИМГРЭ и ВНИИХТ.

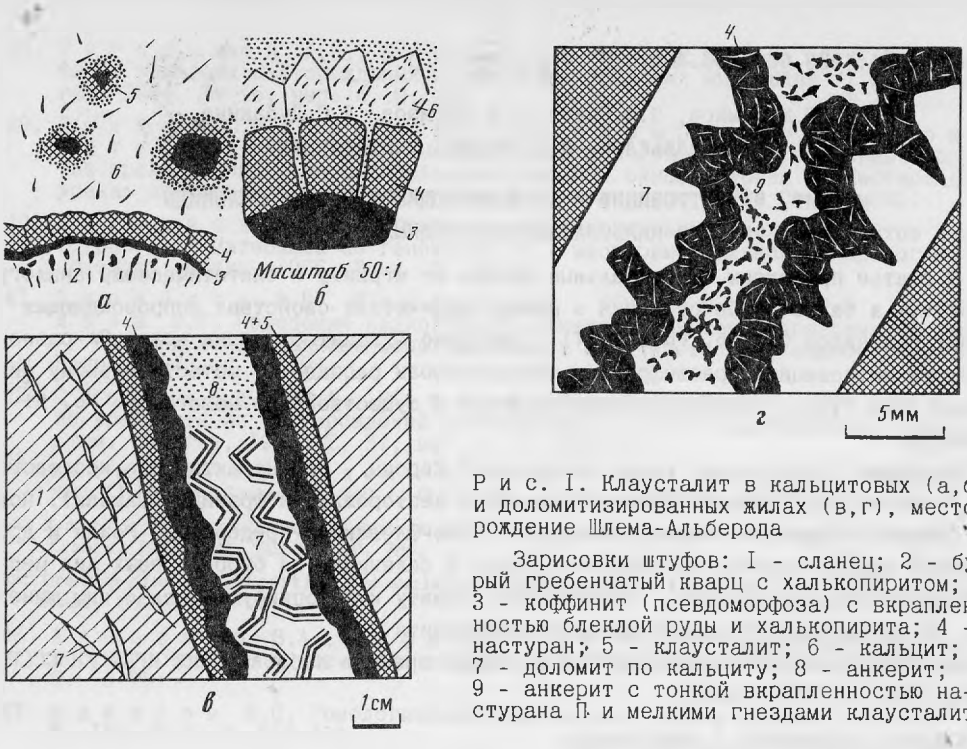
Условия нахождения и парагенезис

Месторождение Шлема-Альберода геологически, геохимически и парагенетически охарактеризовано в работах [1,2], бурошпатовые жилы (преимущественно сами карбонаты) и селениды минералогически изучались авторами [3-6].

Селеновое оруденение в Рудных горах приурочено исключительно к ураноносным карбонатным жилам, относится к вкрапленному типу. Известно свыше 200 жил с селеновым оруденением. Среди них выделяются два типа селеноносных жил: более ранние кварц-кальцит-настурановые и поздние доломит-анкеритовые. Обычно оба типа жил встречаются в одних и тех же трещинах, при этом ранняя кварц-кальцит-настурановая минерализация подвергается интенсивному замещению более поздними карбонатами доломит-анкеритового ряда, кое-где сохраняясь в последних в виде полузамещенных реликтов. Особенно интенсивно замещается кальцит, часто о былом его присутствии в жилах говорит лишь характерная скаленоэдрическая форма псевдоморфоз доломита по кальциту.

В кварц-кальцит-настурановых жилах видимое селеновое оруденение обычно отсутствует и наблюдается лишь в сравнительно немногих жилах в виде заметных вкрапленников и гнезд. Наиболее часто встречаются берцелианит и клаусталит, реже - эвкайрит, умангит, клокманит, иногда науманит. Неправильные гнезда либо мелкие кристаллики селенидов выделяются по зонам роста, индукционным поверхностям и трещинкам в настуране и кальците. В ряде случаев наблюдались ветвистые пленочные дендриты берцелианита на поверхности почек настурана и в кальците, метасоматические оторочки вокруг настурана (рис. I,а). Нами химически проанализированы I9 мономинеральных проб настурана без видимого (макро- и микроскопически) селенового

[I] Обершлема, Нидершлема, Ауэ-Шлема, Шлема-Альберода - все это географические названия населенных пунктов, отражающие этапы расширения одного и того же месторождения по мере его отработки.

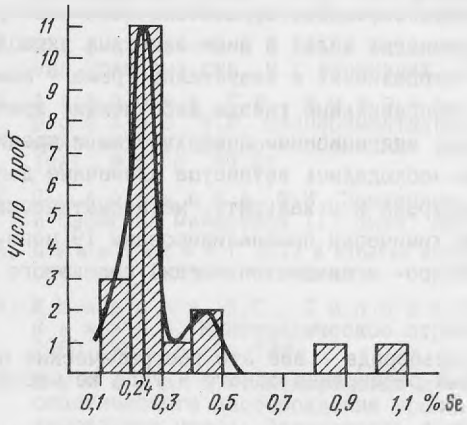


Р и с. I. Клаусталит в кальцитовых (а,б) и доломитизированных жилах (в,г), месторождение Шлема-Альберода

Зарисовки штуфов: I - сланец; 2 - бурый гребенчатый кварц с халькопиритом; 3 - коффинит (псевдоморфоза) с вкрапленностью блеклой руды и халькопирита; 4 - настуран; 5 - клаусталит; 6 - кальцит; 7 - доломит по кальциту; 8 - анкерит; 9 - анкерит с тонкой вкрапленностью настурана П и мелкими гнездами клаусталита

оруденения. На рис. 2 приведены результаты анализов. Селен установлен во всех пробах в количестве 0,I9-I,08%. Модальное содержание равно 0,24%. Кальцит в ассоциации с селенидами обычно перекристаллизован.

В доломит-анкеритовых жилах селеновое оруденение также представлено селенидами. Локализовано оно лишь на тех интервалах жил, где наблюдается реликтовая настурановая минерализация. Для таких интервалов характерно интенсивное замещение минералами доломит-анкеритового ряда кварц-кальцит-настурановой ранней минерализации (рис. I,б). Нами изучено I80 пунктов с селеновым оруденением. В отличие от чешских и моравских месторождений [7] в саксонских жилах везде резко преобладает клаусталит. Другие селениды встречаются значительно реже и в подчиненном количестве. Науманнит встречен в 42 пунктах, берцелианит - в 32, эвкайрит - в 30, умангит с клокманитом, мгриитом и буковитом - в I8.



Р и с. 2. Гистограмма распределения селена в настуране из кварц-кальцито-настурановых жил (по данным I9 химических анализов)

Наиболее распространенные ассоциации селеновых руд следующие (всегда с настураном и доломитом или паранкеритом): I) клаусталитовая; 2) науманнит-клаусталитовая; 3) эвкайрит-науманнит-клаусталитовая; 4) науманит-берцелианит-клаусталитовая; 5) буковит-умангит-клокманит-эвкайрит-берцелианит-клаусталитовая с мгриитом или с селенидами Bi, Tl, Hg.

Ассоциации минералов, богатые медными селенидами, встречаются относительно редко. В них отмечаются графические срастания типа эвкайрит+клокманит, умангит+клокманит, реже умангит+эвкайрит, умангит+берцелианит, клаусталит+петровицит, эвкайрит+клаусталит, берцелианит+клаусталит, клокманит+науманит и тройные умангит+берцелианит+клокманит и клокманит+эвкайрит+умангит.

Отложение селенидов иногда сопровождается синхронным кальцитом, замещающим поздние карбонаты Fe, Mg, Ca (рис. 3), претерпевающим перекристаллизацию в момент образования селенидов и отчасти замещающим селениды. На рис. 3 показано последовательное замещение ромбоэдра анкерита поздним сидеритом, а затем кальцитом, предшествующим селенидам меди. Аналогичная картина наблюдалась и с мгриитом (рис. 4).

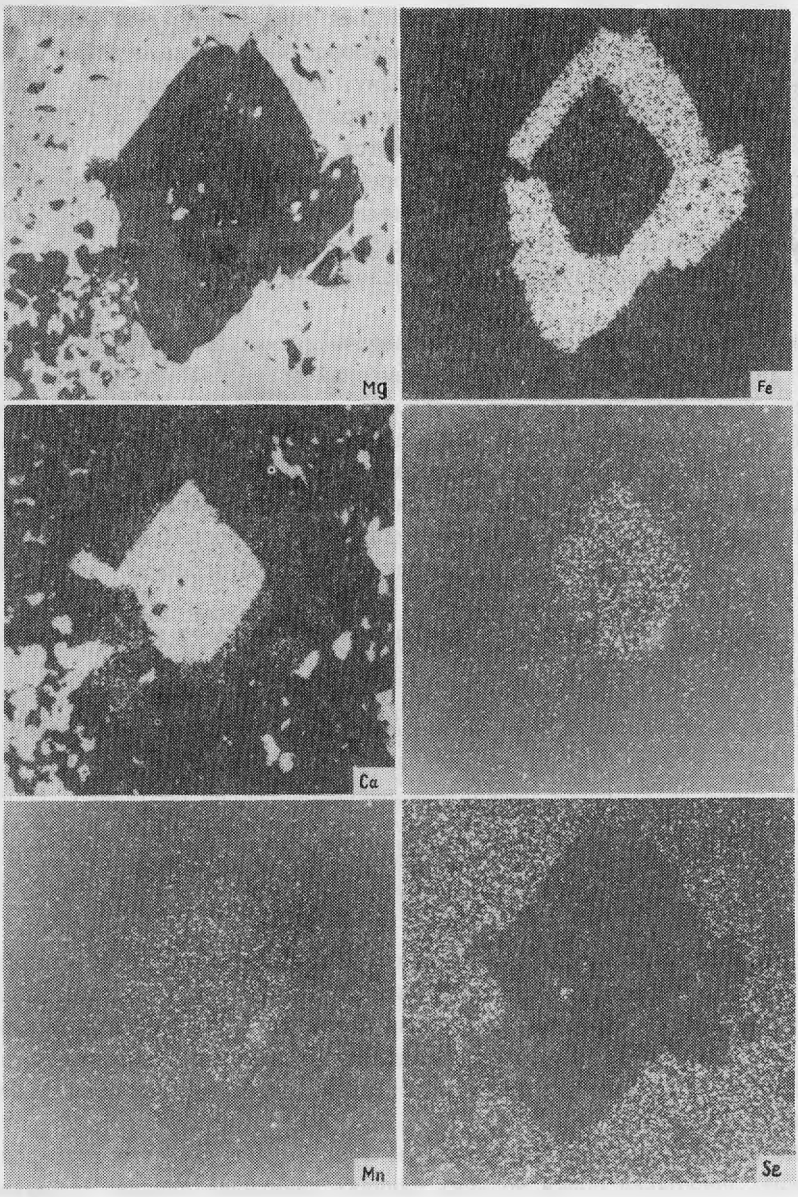
Ни в литературе, ни по наблюдениям многочисленных образцов нет никаких доказанных данных, указывающих на одновременный рост селенидов и настурана. Более того, нет и признаков последовательного без перерыва отложения настуран ⟶ селениды. Во всех случаях селениды цементируют обломки, корродируют или замещают настуран, а в случае "пассивного обрастания" замещают "пассивный" минерал, контактировавший ранее с настураном. Практически нет ни одной более или менее детальной минералогической работы о селенидах из ураноносных жил, где бы не отмечалось либо не иллюстрировалось в приводимых микрофотографиях "сростков" замещение настурана селенидами.

В тех случаях, когда селениды образуют обособленные от настурана выделения, замещают кальцит, выполнявший пустоты между кристаллами доломита, или сами выполняют пустоты, сферолиты настурана не затрагиваются процессами замещения.

Структуры замещения настурана селенидами образуются двумя способами: метасоматическим вытеснением селенидами минерала, ранее заместившего настуран, и метасоматическим вытеснением селенидами непосредственно настурана. Первый случай адекватен пассивному обрастанию настурана селенидами. Есть признаки консервации селенидами первично-реликтовых форм и структур инфрасферолитовой регенерации настурана в последовательности настуран ⟵ коффинит ⟵ настуран П ⟵ селениды.

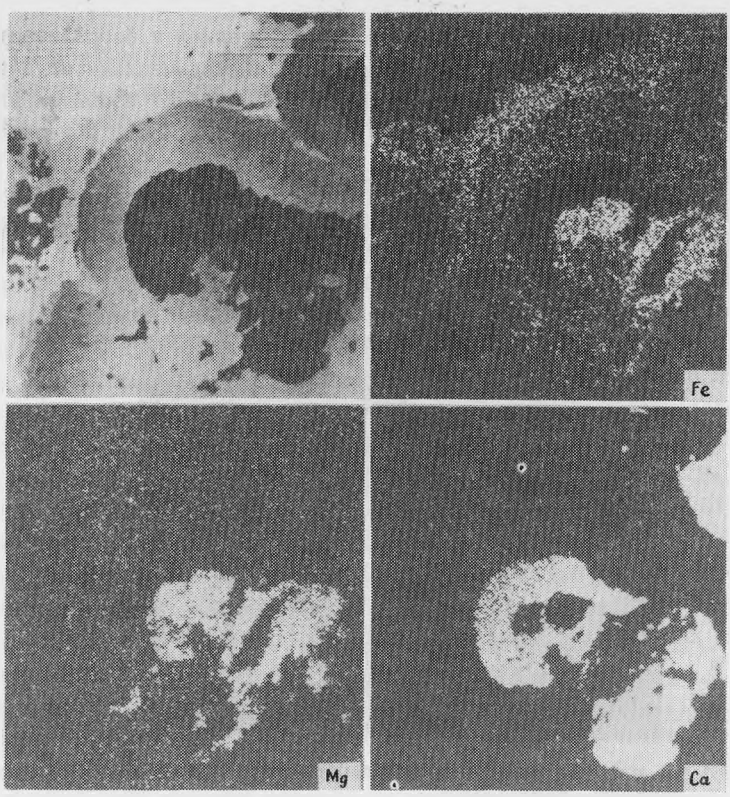
Замещение коффинита селенидами - явление нередкое. В структурах одновременного совместного роста настурана и коффинита последний как наиболее радиационно распавшийся минерал замещается селенидами селективно, не затрагивая существенно настуран, что приводит к ошибочной расшифровке "структур одновременного роста". Не менее сложна расшифровка псевдоморфоз селенидов по сульфидам, заместившим ранее настуран.

Селениды интенсивно замещают настуран, используя в качестве затравок дисперсный галенит, поскольку почти во всех случаях замещение следует с большим (сотни миллионов лет) разрывом во времени после отложения настурана и, следовательно, после определенного накопления радиогенного свинца. О том, что такой разрыв существует, свидетельствует содержание селена в настуране - 0,24% (см. рис. 2), которому соответствует в пересчете на клаусталит примерно содержание 0,62% Pb. Возможно, это показатель более "молодой" (постварисской) минерализации.



Р и с. 3. Последовательность замещения доломита (Ca, Mg) сидеритом (Fe), затем кальцитом (Ca) в гнездах селенидов меди (Se)

Изображение в отраженных электронах и распределение основных элементов. Увел. 400



Р и с. 4. Кристаллы Fe-Mg карбоната и хлорит, замещаются кальцитом (Ca), окруженным мгриитом (серое)
Изображение в отраженных электронах и распределение основных элементов. Увел. 200

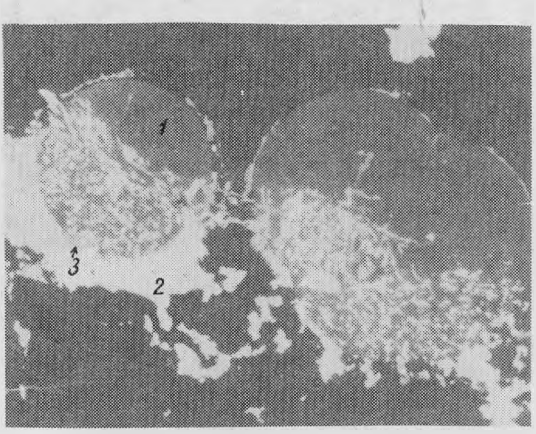
Любой метаморфизм, в том числе и гидротермальный, приводит к освобождению свинца из кристаллической решетки настурана и к появлению в нем зародышевых центров (в зависимости от обстановки в первые моменты метаморфизма в виде Pb-Pb_3O_4, PbS и др.). Зародышевые центры претерпевают соответствующую эволюцию Pb $\longrightarrow$ $\longrightarrow$ (Pb_3O_4) $\longrightarrow$ PbS(PbSe) $\longrightarrow$ PbSe и являются важнейшим фактором метасоматического вытеснения настурана селенидами и прежде всего клаусталитом.

В рудах с глубоких горизонтов месторождения можно наблюдать более сложную картину - последовательное замещение сульфидов, идущее от периферии метакристаллов к центру: PbS $\longleftarrow$ $CuFeS_2$ $\longleftarrow$ Cu_3AsS_{3+x} + $FeAs_2$. В участках с айкинитом образуется вкрапленность метакристаллов и метадендритов виттихенита и михараита.

Как отмечалось в работе [4], состав первичного сульфида играет при замещении его селенидами большую роль и во многом определяет состав минералов, замещающих настуран. Так или иначе в настуране перед замещением селенидами всегда есть готовые зародыши, формы и распределение которых во многом определяют рисунок метасоматических структур.

Среди наиболее распространенных метасоматических структур и микротекстур можно выделить вкрапленные, метавкрапленные, сетчатые, реликтовые. Для вкрапленных структур руд (текстур изменения индивида) характерны границы, разделяющие индивиды на замещенные и сохранившиеся от замещения участки сферолитов.

Встречается "эмульсионная" вкрапленность клаусталита и берцелианита, образующая диффузионные волны в сферолитах настурана с периодическими сгущениями вкрапленников. Вкрапленники селенидов в настуране представляют собой округлые мельчайшие выделения или хорошо образованные метакристаллы, реже метаскелеты. Разрастаясь, вкрапленники образуют густую сеть, в которой сохраняются лишь реликты настурана ("раскрошенные" структуры) (рис. 5). Для тонкопрожилковых структур характерно метасоматическое замещение настурана селенидами по трещинкам с сохранением угловатых реликтов настурана между трещинами.



Р и с. 5. Замещение настурана клаусталитом. Аншлиф. Увел. 200

I - настуран; 2 - клаусталит; 3 - перминжатит (?)

Наиболее эффектны картины замещения настурана селенидами (или чаще псевдоморфоз различных минералов по настурану) по концентрическим и радиальным элементам сферокристаллов и сферолитов.

Наконец, следует отметить явления метасоматического растворения настурана, предшествующего отложению селенидов. В образцах из месторождения наблюдались сферолиты настурана, у которых сохранились лишь ядра и внешние зоны. В результате растворения промежуточных зон и появления пустот ядра под действием силы тяжести опустились на дно пустотелых сфер. Затем все было сцементировано селенидами.

Как уже отмечалось, гнезда с селенидами меди встречаются сравнительно редко и многие из них, особенно гнезда, богатые умангитом, содержат индивидуальный набор редких селенидов. Так, несколько гнезд с мгриитом содержат буковит, перминжатит и ряд других минералов. Гнезда с петровицитом характеризуются наличием Bi-Hg минералов. В связи с этим отмеченные ассоциации характеризуются раздельно.

Новые данные о мгриите и сопровождающих минералах

В связи с публикацией данных о мгриите [4, 5] высказывались определенные сомнения по поводу формулы минерала $(Cu,Fe)_3AsSe_3$, а также расшифровки рентгенограмм, тем более что ряд слабых линий мог быть отнесен к примесям берцелианита и клаусталита, а сильных - к эскеборниту. Предлагалась, в частности (В.Д.Бегизов), иная формула: $(Cu,Fe)_3(Se,As)_4$ для состава $(Cu_{2,80}Fe_{0,19})_{2,99}(Se_{3,15}$

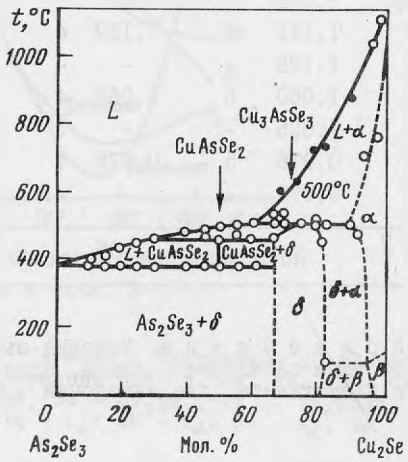
$As_{0,86})_{4,01}$. Практически одновременно был открыт шамеанит $(Cu,Fe)_4As(Se,S)_4$, имеющий сходную с мгриитом рентгенограмму и физические свойства [8]. Для решения возникших вопросов встала необходимость получения соответствующих данных о синтетических аналогах мгриита.

Известно, что в природе мгриит встречен в ассоциации с лёллингитом $FeAs_2$, который, по-видимому, и является источником мышьяка. В связи с этим в свое время совместно с А.Ф.Кунцом был проведен эксперимент[I] по гидротермальному синтезу мгриита при 200 и 300°С в сульфатных растворах. В качестве источника селена использовались крупинки берцелианита (Cu_2Se), в качестве источника мышьяка - порошок лёллингита. В другой серии использовались крупинки лёллингита и порошок берцелианита. Опыты проходили в медных вкладышах. Мгриит таким способом синтезировать не удалось. Вместе с тем сведения о его синтетическом аналоге обнаружены в литературе [9].

Первоначально в ряду синтетических соединений системы Cu-As-Se было получено лишь одно твердо установленное соединение Cu_3AsSe_4 [10]. Это соединение имеет кубическую решетку (структура сфалерита) с параметром a_0 = 0,5496±0,0002 нм, микротвердость H^{50} = (200±15) кгс/мм^2, температура плавления 450°С. Оптимальная температура кристаллизации 310-270°С. Cu_3AsSe_4 является мышьяковым аналогом перминжатита и в связи с этим представляет интерес для поиска еще не открытого в природе минерала.

Дискутируется возможность существования соединения $CuAsSe_2$, однако стекла такого состава при термическом отжиге при 170-270°С в течение до 440 ч раскристаллизовывались с образованием двух известных фаз: Cu_3AsSe_4 и As_2Se_3. Предполагается [11], что процесс может быть охарактеризован реакциями $3CuAsSe_2 \longrightarrow Cu_3AsSe_4 + 2AsSe$ и одновременно $3AsSe \longrightarrow As_2Se_3 + As$. As_2Se_3 - также одно из возможных природных соединений, но пока в качестве минерала не установлено. Моноклинный, температура стеклования As_2Se_3 175°С, оптимальная температура кристаллизации из расплава 330°С [9]. В литературе известно соединение $Cu_6As_4Se_9$, обладающее псевдокубической симметрией с a_0 = 10,99 Å.

При исследовании системы As_2Se_3-Cu_2Se (рис. 6) впервые получено и твердо диагностировано соединение Cu_3AsSe_3 [9] - аналог впоследствии открытого минерала мгриита. Порошкограммы их сходны (табл. I), микротвердость Cu_3AsSe_3 H^{20} =



Р и с. 6. Диаграмма состояния системы As_2Se_3-Cu_2Se [9]

[I] Институт геологии Коми НЦ УО АН СССР.

250 кгс/мм^2, кубический. Плавится инконгруэнтно при 500°С. Соединение Cu_3AsSe_3 образуется по перитектической реакции при 500°С, область гомогенности δ-фазы на его основе, по данным рентгенофазового анализа и микротвердости, простирается от 66,7 до 82 мол.% Cu_2Se.

Сравнение с синтетическим соединением Cu_3AsSe_3 позволило уточнить рентгенограмму мгриита, ввести в нее ранее обнаруженные, но ошибочно отнесенные к примесям дополнительные линии (см. табл. I), подтвердить правильность химической формулы минерала. Наличие δ-фазы на основе Cu_3AsSe_3 и возможность заметных колебаний области ее гомогенности объясняют появление химических разновидностей мгриита, к числу которых можно, по-видимому, отнести и достаточно гетерогенный шамеанит.

Таблица I

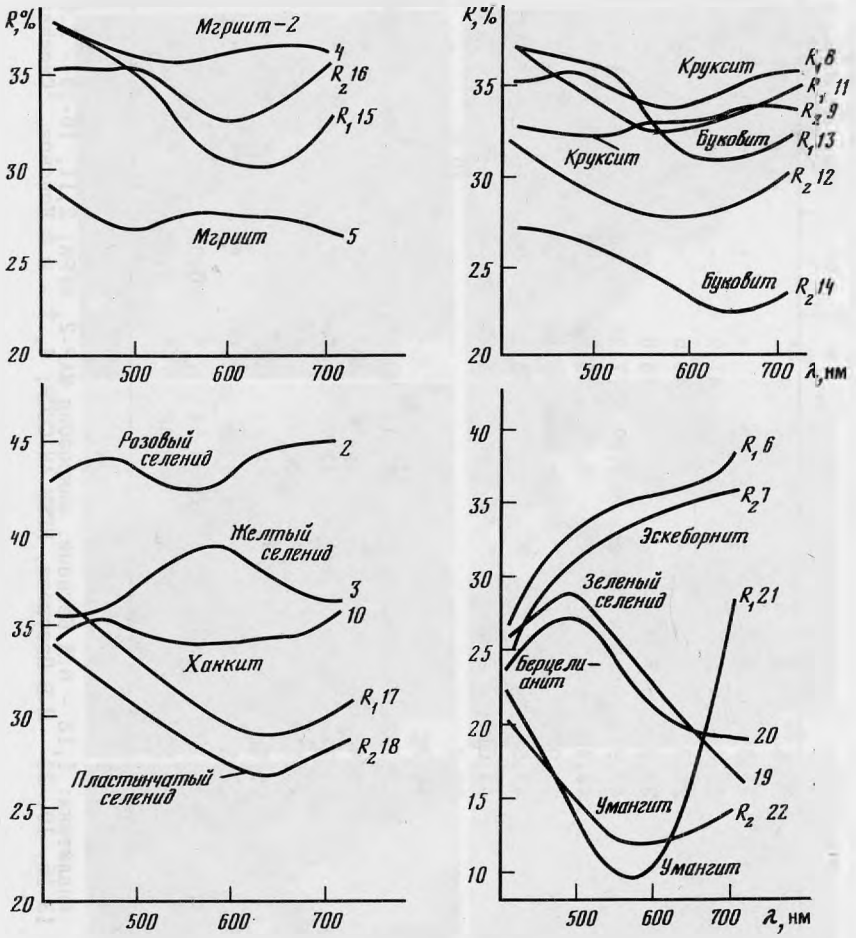
Дебаеграммы синтетического селенида меди и мышьяка (по данным [9]), мгриита (анализы Е.Н.Завьялова [5]) и шамеанита [8]

Cu_3AsSe_3		Мгриит						Шамеанит	
		обр. 8		обр. 7 и 9		Расчетные данные			
I	d/n	I	d/n	I	d/n	hkl	d/n	I	d/n
3	3,5	3	3,50	3*	3,53	3I0	3,50	-	-
7	3,2	I0	3,20	I0	3,2I	222	3,20	I0	3,I87
4	2,I6	3	2,I7	3*	2,I6	5I0; 43I	2,I7	-	-
9	I,963	I0	I,958	7	I,958	440	I,957	9	I,95I
4	I,850	2	I,84I	2*	I,838	600	I,845	-	-
9	I,680	7	I,670	5	I,673	622	I,669	8	I,665
2	I,53I	-	-	I*	I,530	640	I,535	-	-
2	I,399	I/2	I,402	-	-	752; 65I	I,406	-	-
6	I,384	4	I,384	3	I,385	800	I,384	-	-
6	I,27I	5	I,269	4	I,267	662	I,270	6	I,266
2	I,245	I/2	I,245	I*	I,246	752	I,253	-	-
2p	I,I75	-	-	2**	I,I73	922; 850	I,I73	-	-
7	I,I3I	6	I,I29	4	I,I29	844	I,I30	7	I,I27
8	I,I25	-	-	-	-	940; 665	-	-	-
7	I,060	5	I,065	4	I,064	I0.2.2;666	I,065	-	-
2	I,025	-	-	I*	I,020	I0.3.3;96I	I,0I9	-	-
6	0,976	5	0,978	4	0,978	880	0,979	-	-
4	0,973	-	-	-	-	II.2.2;I0.3.2	-	-	-
a_0, Å			II,07		II,07		II,07		II,04

Примечание. Условия съемки мгриита: Fe_K - излучение, камера РКД-57,3; одна звездочка - линии, предположительно отнесенные в работе [5] к примеси клаусталита, две звездочки - берцелианита.

Новые данные о мгриите и ассоциирующихся с ним селенидах получены при инструментальном минераграфическом и микрозондовом[1] исследовании аншлифов (табл.2.). Несколько отличается от обычного по составу и свойствам круксит, обрастающий в виде корки кристалла буковита("круксит-Б"). Круксит содержит серебро (тонкая вкрапленность эвкайрита) и до 0,20% Au, 0,0I% Ni, 0,02% Co и Fe.

Тонкие минераграфические исследования выявили ряд дополнительных данных о минеральном составе уран-селенидной ассоциации, содержащей мгриит. На универсальном микроспектрофотометре[2] МСФ-I0 сняты спектры отражения селенидов, в том числе неидентифицированных (табл. 3, рис. 7). Для двуотражающих минералов из данных измерений нескольких (5-7) сечений взято сечение с небольшим отражением. Сопоставление координат цветности x и y, рассчитанных для четырех стандартных ис-



Р и с. 7. Спектры отражения мгриита и сопутствующих минералов
Номера кривых соответствуют номерам в табл. 3

---

[1] Образцы исследовались на приборах JXA-3A и "Camebax". Напряжение 20 кВ (для As и Se 30 кВ), ток через образец 20-30 нА. Эталоны для Fe, Cu, Ag, Sb - чистые металлы, для Pb - PbS, As -арсенопирит, Se - Bi_2Se_3, Tl - круксит. Аналитические линии: Cu, Fe - K_α; Pb - M_α; Ag - L_α; Sb - L_α; As - K_α, Se - K_α и L_α (при 20 кВ); Tl - M_α.

[2] Зонд диаметром I5 мкм, эталон кремний, точность I,5%.

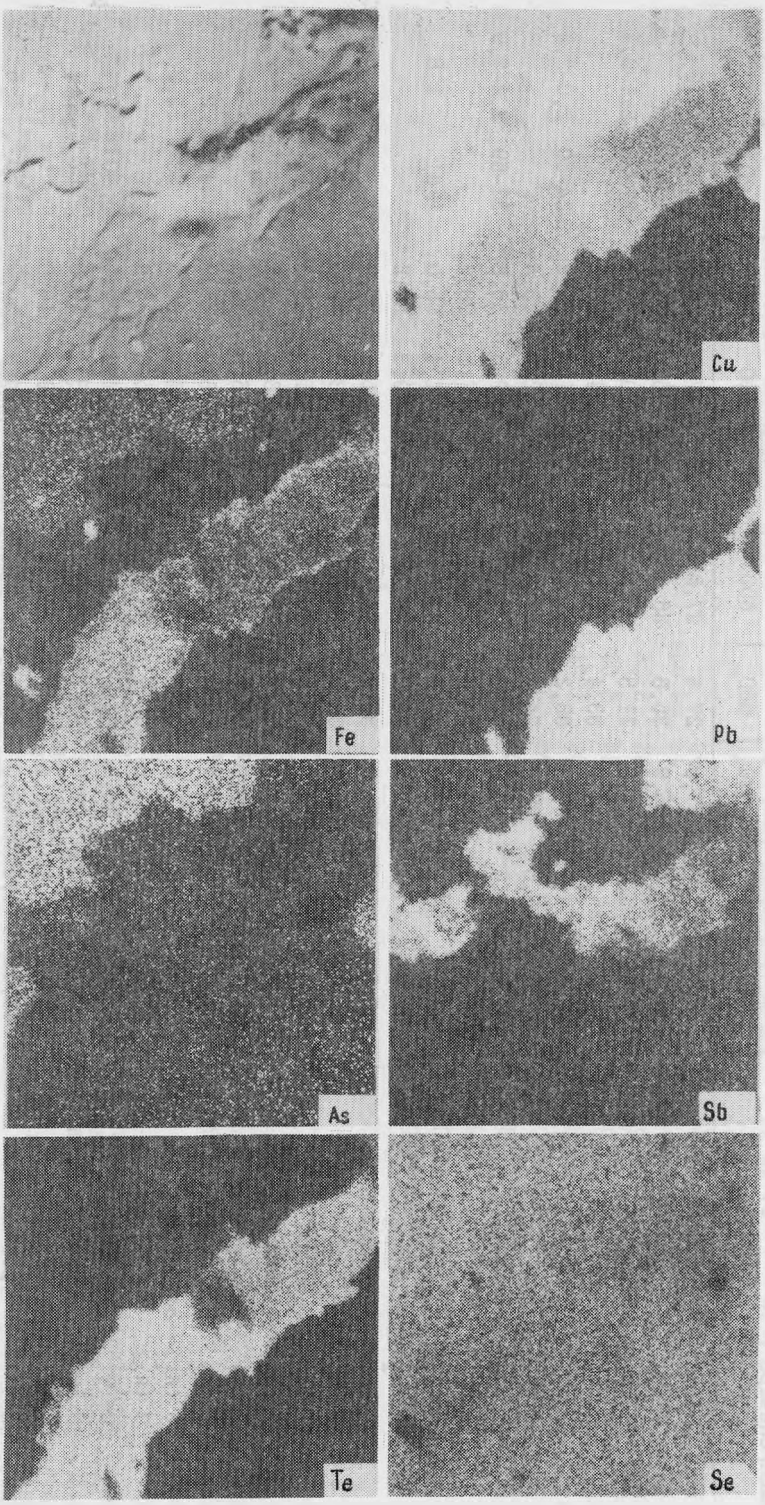
Таблица 2

Химический состав (в мас.%) мгриита и ассоциирующихся с ним селенидов из Рудных гор

№ п/п	Минерал	Cu	Fe	Pb	Ag	Tl	Bi	Sb	As	Se	Hg	Сумма
I	Мгриит*	35,5	2,3	-	-	-	-	-	I3,04	49,8	-	I0I,0
2	"	35,3	2,2	-	-	-	-	-	I3,06	48,0	-	I00,7
3	Буковит*	I9,4	6,0	-	-	4I,9	-	-	-	32,6	-	99,9
4	"	2I,3	6,3	-	-	48,5	-	-	-	26,5	-	I02,6
5	"	20,6	6,3	-	-	45,8	-	-	-	24,3	-	97,0
6	Круксит - "Б"	47,94	Не обн.	Не обн.	0,27	I7,36	Не обн.	0,02	Не обн.	34,I5	Не обн.	I00,0
7	"	46,42	"	"	0,I0	I8,56	"	Не обн.	"	34,92	"	I00,0
8	Круксит	43,93	0,02	"	Не обн.	23,I0	0,04	"	"	3I,38	0,09	98,56
9	"	43,56	0,0I	"	"	23,39	0,06	"	"	3I,72	Не обн.	98,74
I0	"	43,6I	0,0I	"	"	23,56	0,06	"	"	30,97	0,02	98,23
II	Перминжатит*	29,4	-	-	-	-	-	I9,8	-	50,0	-	99,2
I2	Умангит	54,9	-	-	-	-	-	-	-	44,6	-	99,50
I3	Эвкайрит	25,I9	Не обн.	Не обн.	42,45	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	30,63	Не обн.	98,27
I4	"	25,42	"	"	42,I4	"	"	"	"	30,59	"	98,I5
I5	"	25,53	"	"	42,78	"	"	"	"	30,47	"	98,78
I6	"	25,3	"	"	42,9	"	"	"	"	3I,8	"	I00,I
I7	"	25,6	"	"	42,4	"	"	"	"	32,I	"	I00,I
I8	"	24,8	"	"	42,5	"	"	"	"	30,8	"	99,5
I9	Клаусталит	0,I9	"	70,25	0,5I	"	0,03	"	"	27,36	"	98,34
20	"	0,32	"	70,32	0,48	"	0,I4	"	"	27,37	"	98,63

Примечание. Аналитики: I,I2 - В.Д.Бегизов, микрозонд МАР-2, МГРИ; 2,II, I6-I8 - Л.С.Дубакина, микрозонд MS-46, "Cameka", ВИМС; I3-I5, I9, 20 - М.В.Цветкова, ИГЕМ АН СССР; 6, 7 - И.В.Кононов, "Camebax", ВНИИХТ. Прочерк - не анализировался.

* Среднее по двум зернам.



Р и с. 8. Мгриит (As-Fe), буковит (Cu-Fe-Tl) в ассоциации с клаусталитом (Pb), хакитом (Cu-Sb) и неизвестным минералом (Sb-Tl)

Изображение в отраженных электронах и картины распределения основных элементов. Увел. 800

Спектры отражения селенидов

Таблица 3

Номер образца	Номер спектра	Минерал	Длина волны, λ, нм								Микротвердость	
			440	480	520	560	600	640	680	710	H	H_o
I	5 (R)	Мгриит	28,1	27,0	27,0	27,6	27,5	27,5	27,2	26,7	182	4,0
2	4 (R)	Мгриит-2	37,3	36,4	35,9	35,8	36,1	36,4	36,4	36,2		
3	15 (R_1)	Буковит	36,8	35,8	34,2	31,8	30,5	30,1	30,6	32,1	27-70	2,1-2,9
4	16 (R_2)	"	35,2	35,2	34,9	33,4	32,5	32,9	34,0	35,2		
5	13 (R_1)	Буковит	36,8	36,3	35,7	33,2	31,3	31,0	31,6	32,2	24-50	2,0-2,6
6	14 (R_2)	"	27,1	26,6	25,8	24,6	23,5	22,6	22,9	23,6		
7	17 (R_1)	Буковит (?)	35,7	34,0	32,5	30,9	29,6	29,2	29,5	30,3	33-69	2,2-2,9
8	18 (R_2)	"	32,8	31,3	29,9	28,6	27,4	26,9	27,5	28,2		
9	11 (R_2)	Круксит-Б	36,3	36,0	33,7	32,8	32,8	33,4	34,4	35,0	61	2,8
10	12 (R_2)	"	31,2	30,0	29,0	28,2	28,1	28,5	29,3	30,3		
11	8 (R_1)	Круксит	35,5	35,6	34,7	34,0	34,1	34,9	35,4	35,7		
12	9 (R_2)	"	32,6	32,4	32,5	32,9	33,0	33,4	33,6	33,6		
13	21 (R_1)	Умангит	19,4	15,8	12,1	9,9	10,2	14,8	21,5	28,3	55	2,7
14	22 (R_2)	"	18,4	16,0	13,9	12,3	12,2	12,6	13,6	14,5		
15	3 (R)	Эвкайрит (?)	35,6	36,3	37,7	38,8	38,8	37,6	36,5	36,1		
16	1 (R)	Клаусталит	57,7	54,7	52,2	49,9	48,3	47,4	46,9	46,8	45	2,5
17	6 (R_1)	Эскеборнит	29,4	32,2	33,8	34,8	35,4	36,0	36,8	38,5	33	2,2
18	7 (R_2)	"	27,5	30,0	31,8	33,1	33,9	34,7	35,3	35,9		
19	10 (R_2)	Хаккит (?)	35,1	35,0	34,3	34,0	34,1	34,2	34,6	35,5	90	3,1
20	19 (R)	Зеленый селенид	27,1	28,5	27,6	25,1	22,7	20,5	18,4	16,8	27	2,1
21	20 (R)	Берцелианит	25,6	27,1	26,4	23,7	21,3	19,8	19,3	19,0		
22	2 (R)	Петровицит (?) (поперечный срез (?)	43,8	44,0	43,0	42,6	43,3	44,5	44,9	50,2	50	2,6
23	R_1	Петровицит	42,8	43,0	44,2	45,9	46,3	47,6	47,7	-	179	
24	R_2	"	40,5	42,0	44,1	45,6	45,6	45,8	45,3	-		

Примечание. Условия анализа: прибор МСФ-10, эталон кремний, участок 15 мкм, точность 1,5 отн.%. Микротвердость измерялась при нагрузке 20 г; Кн для обр. 13 равен 2,2, для обр. 15 -2,6, для обр. 17 - 2,1; аналитик Е.Г.Рябева. Обр. 23, 24 - анализ Д.К.Щербачева[11] [6]. Мгриит-2 от мгриита отличается повышенным отражением, характер спектра одинаков. Обр. 3, 4 серо-сиреневого цвета, цвет поляризации - от серо-голубого до блекло-коричневого. Знак меняется при 500, 475, 496, 540 нм в различных сечениях; обр. 5, 6 - цвет голубой, сильно анизотропный, двуотражающий; 7, 8 - розовато-сиреневый, плеохроирует от розового до фиолетового, погасание прямое, удлинение отрицательное, содержит ориентированные включения умангита; 9, 10 - желто-кремовый, анизотропия слабая, двуотражение, цвет поляризации от серо-голубого до палевого. Контакт буковита; 11, 12 - розовато-сиреневый, в срастании с умангитом; 15 - срастается с клокманитом, умангитом и пластинчатым селенидом; 17, 18 - находится в клаусталите в тесной ассоциации с мгриитом; 19 - коричневато-желтый изотропный на контакте мгриита и клаусталита; 20 - очень близок к берцелианиту; 22 - розовый, похож на пирротин, но очень мягкий и изотропный, очень быстро покрывается побежалостью.

Таблица 4

Химический состав (в мас.%) селенидов висмута - Bi-петровицита (1-3) и псевдоморфозы состава R_3Se_2 (4-10) по данным электронно-зондового анализа

Номер анализа		Se	Bi	Cu	Pb	Ag	Hg	Сумма
1		34,53	28,15	15,06	15,54	Не обн.	7,14	100,42
2		34,04	28,13	15,07	15,88	"	7,33	100,45
3		34,62	28,19	15,00	15,92	"	7,23	101,02
4		35,92	8,86	37,82	14,01	1,46	Сл.	98,15
5		33,58	9,83	36,32	15,94	2,07	"	99,78
6		37,03	10,79	35,08	15,00	1,51	"	99,41
7		38,60	12,09	32,54	14,29	2,09	"	99,61
8		38,65	11,69	32,84	13,92	2,02	"	99,12
9	а)	45,70	2,34	37,09	7,44	Не обн.	"	92,57
	б)	46,36	2,78	37,51	6,78	"	"	93,43
	в)	46,27	2,41	37,60	8,07	"	"	94,35
10	а)	36,34	9,82	36,10	14,66	"	"	96,92
	б)	36,72	9,86	36,18	14,62	"	"	97,38
	в)	36,45	10,23	35,22	15,14	"	"	97,04

Примечание. Аналитик М.В.Цветкова ИГЕМ АН СССР, микрозонд "Cameka"MS-46, S в ан. 4 - 0,08, в ан. 5 - 0,04 мас.%.

точников, с данными Т.Н.Чвилевой и др. [12] показало на очень хорошую сходимость для всех минералов, кроме умангита. Микротвердость измерена при нагрузке 20 г, экспозиция 15 с, нагружение автоматизировано (см. табл. 3).

Не удается установить, является ли новым минералом или разновидностью буковита образовавшаяся по буковиту фаза, неравномерно обогащенная сурьмой (рис. 8). Не расшифрованы также зафиксированные на этом рисунке угловатые границы между минералами, принадлежали ли они первоначально селенидам или карбонатам.

Обогащенный висмутом петровицит

В ассоциации с берцелианитом и клаусталитом обнаружен минерал, по своим свойствам напоминающий петровицит, установленный [13] в Моравии (Чехо-Словакия), но существенно отличающийся отношением Hg:Bi и определенный [6] как Bi-разновидность петровицита. В отличие от петровицита (минерала с формулой $Cu_3HgPbBiSe_5$) в изученном селениде содержится на 10% больше висмута и на 10 мас.% меньше ртути (табл. 4).

По набору элементов минерал близок к петровициту, однако по количественному соотношению и эмпирической формуле $(Cu_{0,54}Bi_{0,31}Pb_{0,17}Hg_{0,08})_{1,1}Se$ или $Cu_{2,7}Bi_{1,55}Pb_{0,85}Hg_{0,40}Se_5$ заметно отличается от петровицита. Вопрос о том, является ли минерал новым видом или разновидностью петровицита, мог быть решен лишь рентгенографическим анализом. Расчет дебаеграммы минерала (табл. 5) показал сходство кристаллической решетки его с решеткой петровицита.

Таблица 5

Данные дебаеграмм петровицита и его новой разновидности

№ п/п	Bi-разновидность		Петровицит [13]			№ п/п	Bi-разновидность		Петровицит [13]		
	I	d/n	I	d/n	hkl		I	d/n	I	d/n	hkl
1	I	4,22	4	4,34	320	19	4	2,25	5	2,262	611
2	I	3,88	-	-	-	20	2	2,17	4	2,164	002
3	I	3,79	-	-	-	21	3	2,10	5	2,109	161
4	4	3,63	7	3,62	330	22	1	2,06	5	2,061	122;261
5	4	3,54	8	3,546	420	23	2	2,03	4	2,022	800;711
6	-	-	2	3,326	240	24	-	-	3	1,945	551;641
7	2	3,16	8	3,186	131	25	-	-	3	1,920	232
8	10	3,075	10	3,120	430	26	1	1,885	-	-	-
9	4	3,01	1	3,066	321	27	1	1,863	-	-	-
10	8	2,92	10	2,961	520;401	28	-	-	4	1,832	080
11	-	-	1	2,867	150	29	1	1,806	1	1,813	660
12	1	2,62	5	2,720	440	30	1	1,775	4	1,777	561;821;432
13	1	2,55	1	2,562	511	31	1	1,763	-	-	-
14	1	2,52	1	2,520	620	32	1	1,726	3	1,717	831
15	1	2,44	1	2,422	540;160	33	-	-	2	1,665	850
16	-	-	1	2,373	450	34	1	1,5445	-	-	-
17	1	2,34	3	2,326	251	35	1	1,509	-	-	-
18	1	2,30	-	-	-	36	1	1,459	-	-	-

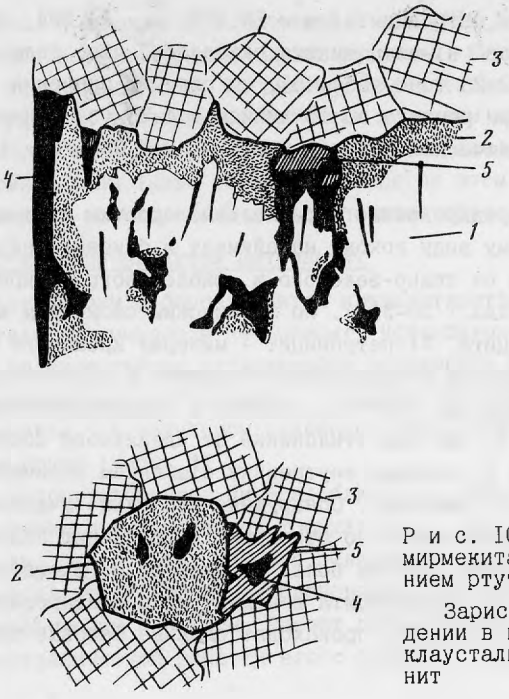
Примечание. Условия съемки: K_α - излучение, камера РКД-57,3, диаметр препарата (порошок, сцементированный резиновым клеем) 0,2 мм. При расчете дебаеграмм вводились поправки на поглощение.

Параметры кристаллической решетки петровицита: a = I6,I76, b = I4,684, c = 4,33 Å [I3]. При расчете параметров Bi-петровицита оказалось, что, включая в расчет I0 основных линий 4-I0 и I9-23 (см. табл. 5), мы получим значения a = I5,97, b = I4,72, c = 4,32 Å. При расчете по I5 линиям с 4-23 (за исключением I8) значения параметра кристаллической решетки иные: a = I6,032, b = I4,635, c = 4,430 Å.

Крупные (до I см) интенсивно корродированные параллельные сростки игольчатых кристаллов Bi-петровицита по внешнему виду похожи на айкинит и буковит (рис. 9). Сильно анизотропен, цветные эффекты от темно-зеленого и фиолетового до кремового; угасание косое (в изученных срезах - 26-30°). По физическим свойствам минерал несколько отличается от петровицита. Bi-петровицит - минерал кремового цвета со слабым розовым оттенком. Дисперсия коэффициента отражения и микротвердость его (см. табл. 3) замерены Д.К.Щербачевым (ИМГРЭ); заметно и повышение коэффициента отражения и микротвердости, так же как отклонение от идеального состава петровицита, что, возможно, связано со сложным внутренним строением оптически и в отраженных электронах гомогенного минерала. Обнаружено несколько участков, где изменение выявило следы равномерной косой по отношению к удлинению полосчатости, связанной с появлением тончайших пластин более твердой фазы. В отдельных интенсивно корродированных реликтах Bi-петровицита в момент микрозондирования, судя по изменению внутреннего строения зерен, происходят сложные фазовые превращения.

Р и с. 9. Кристаллы Bi-петровицита (I) с настураном (2). Зарисовка с аншлифа. Увел. 300
3 - клаусталит; 4 - (белое поле) берцелианит

По периферии отдельных микровыделений Bi-петровицита, а также вокруг включений в нем локально появляется кайма более низкоотражающего двухфазового агрегата со слабым фиолетовым оттенком (рис. I0). Судя по растровым картинам распределения, содержание основных компонентов Se, Pb, а также обнаруженных в таких участках примесей As и Tl меняется мало; заметно, хотя и слабо повышается в кайме содержание Cu и Bi. Вместе с тем в кайме появляется Ag и практически полностью отсутствует ртуть (Hg ← Ag). Состав каймы не определялся, так как в иммерсии отчетливо заметна ее двухфазность: равномерно концентрированные мирмекиты второй фазы не превышают I мкм. Судя по химическому составу, ориентировочно предполагается, что мирмекиты принадлежат минералу, по составу близкому к



Р и с. I0. Замещение Bi-петровицита (I) мирмекитами Ag-селенида (2) с вытеснением ртути

Зарисовка участка аншлифа при наблюдении в иммерсии при увел. 2500: 3 - клаусталит; 4 - берцелианит; 5 - тиманнит

богдановичиту ($AgBiSe_2$). На экране микрозонда при увел. 8000 отчетливо заметно, что более светлые включения под электронным пучком растворяются в матрице. На контакте с каймой появляется тиманнит, замещающий селениды Cu и Pb (см. рис.I0).

В парагенетическом плане представляет интерес близость составов Bi-петровицита и сульфовисмутидов меди из ураноносных рудногорских жил [4].

Как уже отмечалось, настуран не обрастает селениды и не растет совместно с селенидами в ураноносных жилах. Однако в образце с Bi-петровицитом в отдельных участках можно наблюдать сферокристаллы настурана на вершинах игольчатых кристаллов, как это показано на рис. 9. Казалось бы, в пользу непосредственного обрастания говорит кристаллографическая ориентировка кристалла петровицита: совпадение структуры и формы. Но вопрос здесь сложнее, так как сферолит настурана у основания его замещен Bi-петровицитом. В Bi-петровиците, как и в других селенидах, можно встретить и корродированные сегменты сферолитов и скопления изъеденных реликтов настурана[2].

Противоречивые признаки отмеченного "обрастания" (см. рис. 9) объясняются следующим образом: сферокристаллы настурана обрастали игольчатые кристаллы иного минерала, который затем был эндотаксически замещен Bi-петровицитом. Естественно, это должен быть сульфид, и такой сульфид известен - айкинит. Обрастание айкинита настураном в жилах месторождения детально описано О.Эльснером [I4], В.Л.Барсуковым [I5], Е.М.Стрелкиной [I6]. Возникает предположение, не послужил ли айкинит - минерал варисской кварц-кальцит-настурановой минерализации, а

[2] Следует отметить также, что какие-то изменения в реликтах настурана происходили: вдоль извилистой границы реликтов на глубину I-2 мкм наблюдалась заметная перекристаллизация UO_{2+x} и появление на ее внутренней границе прерывистых каемок берцелианита и клаусталита.

затем виттихенит и михараит (железо пошло на образование ферроселита), связанные с киммерийской доломитизацией, источником висмута, свинца и меди непосредственно на месте замещения: $CuPbBiS_3 + 3Se + Cu_2Se + HgSe \longrightarrow Cu_3HgPbBiSe_5 + 3S$. Известно [16], что с айкинитом ассоциируется гринокит. Проведенный в связи с этим поиск на микрозонде выявил заметное повышение кадмия и селена в сферолитах настурана, сросшихся с Bi-петровицитом. Качественное площадное сканирование показало небольшую равномерно распределенную примесь в Bi-петровиците Ni и Co, а также S.

Генетические взаимоотношения селенидов с Bi-петровицитом в значительной мере удалось расшифровать. Bi -петровицит содержит включения (в том числе линзовидные, по спайности) берцелианита, берцелианита с умангитом, редко - клаусталита. Метакристаллы клаусталита замещают петровицит (см. рис. 9). Клаусталит имеет "структуры взаимных границ" с берцелианитом, но вместе с тем встречается в берцелианите в виде мирмекитов. Умангит в небольших зернах берцелианита образует тонкие линзовидные (пертитоподобные) вростки, но встречается и в виде самостоятельных зерен, образовавшихся отчетливо до берцелианита (умангит $\rightleftarrows$ берцелианит). Круксит образовался отчетливо позже берцелианита, замещает его в том числе вдоль трещин. Охарактеризованные ниже биминеральные автопсевдоморфозы распада х-минерала R_3Se_2, по-видимому, занимают во временном ряду селенидов место вслед за петровицитом или крукситом; время распада его определить не удается, но известно, что матрицей псевдоморфоз служит берцелианит.

Гетерогенные псевдоморфозы по минералу типа R_3Se_2

В ураноносных жилах Рудных гор нередко можно встретить минерал, приобретающий в полировках после длительного хранения оливково-серую (похож на берцелианит) или кремово-серую окраску (похож на эвкайрит). Отражение этого минерала ниже, чем клаусталита и эвкайрита, но немного выше, чем берцелианита. В скрещенных николях наблюдаются цветные эффекты анизотропии в зеленовато-серых и красноватых тонах. Минерал первоначально рассматривался как новый вид, так как ни при оптических, ни при микрозондовых (рис. II) исследованиях, по крайней мере при увел. до 500, не выявлялась его гетерогенность. Микрозондовые анализы дали относительно стабильные результаты для конкретных участков (см. табл. 4), однако рентгенография (табл. 6) показала противоречивую картину, что потребовало более детального микроскопического изучения. По наблюдениям при максимальном оптическом увеличении в иммерсии (увел. до 2500), выявилась двухфазность минерала: матрица, сложенная голубовато-зеленоватым минералом, сходным с берцелианитом, включает исключительно равномерно и плотно распределенные мельчайшие (0,5-I мкм) удлиненные (в срезе - изометрические) мирмекиты розоватого неизвестного минерала, судя по рельефу, с относительно высокой твердостью, и более редкие включения минерала, сходного с эвкайритом.

В зависимости от ориентировки мирмекитов (продольный или поперечный разрез) минерал несколько изменяет свою окраску.

Таким образом, речь идет о псевдоморфозе и, судя по характеру крайне однородного распределения мирмекитов, о псевдоморфозе распада. В результате распада неизвестного минерала образовался изотропный берцелианит (см. табл. 6) и какой-то анизотропный минерал (может быть, несколько минералов), эндотаксически выросший в берцелианите и подчеркивающий размеры и ориентировку его зерен.

Таблица 6

Межплоскостные расстояния гетерогенной (двухфазной ?) псевдоморфозы распада по неизвестному селениду R_3Se_2

№ п/п	I	d/n, Å	№ п/п	I	d/n, Å	№ п/п	I	d/n, Å
I	I	3,843	9	2	2,839	I9	I	I,836
2	I	(3,657)	I0	I	2,484	20	2	I,732
3	2	3,59I	II-I3	I	-	2I	I	I,438
4	2	3,482	I4	2	2,250	22	2	I,364
5	I0	3,323	I5	5	2,I59	23	2	I,3I5
6	I0	3,I35	I6	I	2,I23	24	I	I,242
7	I0	3,053	I7	I0	2,033	25	3	I,I70
8	I	2,923	I8	I	I,923			

Примечание. Аналитик Т.П.Басова. Рентгенограмма № 6350. Лаборатория минераграфии ИГЕМ. Fe-излучение, 35 кВ, I6 А, d = 0,3 мм.

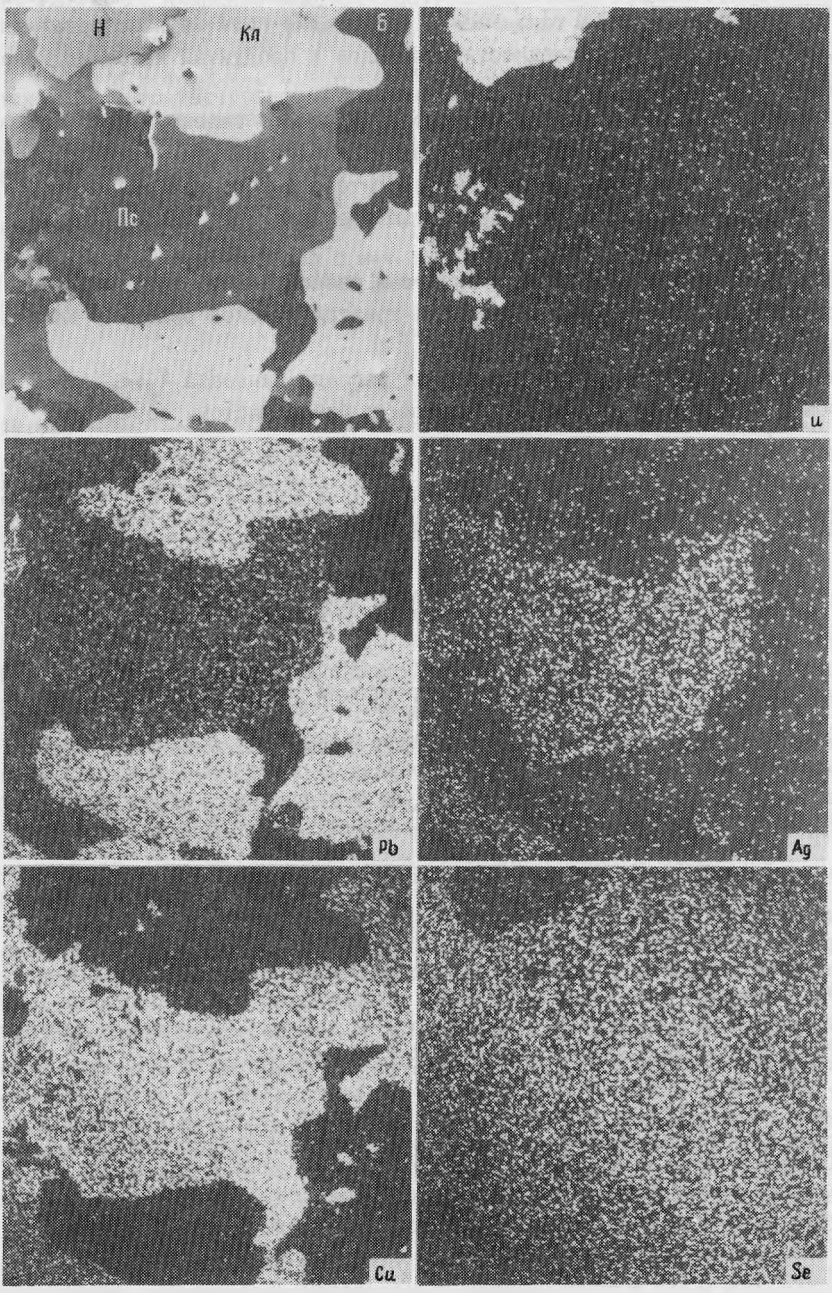
Микрорентгеноспектральный анализ отражает суммарный состав псевдоморфоз, в общих чертах соответствующий формуле R_3Se_2 (см. табл. 4, ан. 4-8):

4. $(Cu_{2,62}Pb_{0,30}Bi_{0,18}Ag_{0,06})_{3,16}Se_2$
5. $(Cu_{2,54}Pb_{0,34}Bi_{0,21}Ag_{0,08})_{3,17}Se_2$
6. $(Cu_{2,35}Pb_{0,31}Bi_{0,22}Ag_{0,06})_{2,94}Se_2$
7. $(Cu_{2,26}Pb_{0,28}Bi_{0,24}Ag_{0,08})_{2,86}Se_2$
8. $(Cu_{2,11}Pb_{0,27}Bi_{0,23}Ag_{0,08})_{2,69}Se_2$

Как известно [4], процесс эволюции селенидов идет с постоянной последовательностью: умангит Cu_3Se_2 ⟶ берцелианит Cu_2Se. Фактически здесь наблюдается аналогичный переход, но в более сложном варианте. Распад метастабильного Х-минерала R_3Se_2 произошел аналогичным путем: R_3Se_2 ⟶ Cu_2Se + RSe.

Сравнение межплоскостных расстояний (см. табл. 6) и прежде всего четырех наиболее сильных линий рентгенограммы с эталонными [I7-I9] показывает на возможную принадлежность их берцелианиту Cu_2Se. d/n, Å(J): 3,33 (9); 2,03(I0); I,73I(8). У последней линии другая интенсивность, но зато ряд других - 2,48(I); 2,25(I); 2,435(3); I,3I8(2); II73(4) - хорошо совпадает с полученными значениями. Часть линий, возможно, принадлежит α-эвкайриту CuAgSe или клаусталиту PbSe. Это прежде всего 3,06(I0); 2,I7(7); I,370(5). Сильные линии 3,I4 и 2,9I0 характеризуют хакит R_3SbSe_3, линии 3,59(4); 3,06(I0); 2,24(4); 2,I0(4); I,734(3) характерны для невскита $Bi_2(Se,S)_2$, и можно ожидать здесь присутствие структурно близкого к ним минерала эпитаксических сростков.

Если взять за основу ан. 6 (см. табл. 4) с наиболее близким к стехиометрии соотношением катионов и анионов, то состав псевдоморфозы распада может быть выражен следующим уравнением: $(Cu_{2,35}Pb_{0,31}Bi_{0,22}Ag_{0,06})_{2,94}Se_2 = Cu_2Se + (Cu_{0,35}Pb_{0,31}Bi_{0,22}Ag_{0,06})_{0,94}Se$. Последнее выражение (примесь в берцелианите) можно представить так: $CuPb(Bi,Ag)Se_3$, в целом по составу это отвечает новому минералу, близкому к безсернистому соучекиту CuPbBi(Se,S). Ртути в нем очень мало или она отсутствует, есть небольшая примесь As и Tl, но микрозонд не обнаружил в нем Sb, S, Zn, Fe, Co, Ni, U и TR.



Р и с. II. Псевдоморфоза по R_3Se_2 (с отпечатками от алмазной пирамиды). Изображение в отраженных электронах (увел. 300) и распределение основных элементов в настуране - Н (U), клаусталите - Кл (Pb, Se),псевдоморфозе - Пс (Pb, Ag, Cu, Se) и берцелианите - Б (Cu, Se)

Выводы

I. Парагенезис мгриита и других селенидов и прежде всего возрастные взаимоотношения их с карбонатами, а также малое содержание PbSe в настуранах являются косвенными признаками принадлежности селенидов к продуктам наиболее молодой минерализации Рудных гор.

2. Сравнение мгриита и синтетического кубического селенида состава Cu_3AsSe_3 показало их полную идентичность, в то время как близкий к мгрииту по составу и свойствам минерал шамеанит с формулой для гетерогенного материала $(Cu,Fe)_4As(Se,S)_4$, возможно, является разновидностью мгриита, а не самостоятельным минеральным видом.

3. Обнаружена и изучена богатая висмутом разновидность петровицита по физическим свойствам, структуре и параметрам кристаллической решетки, близкая к эталонному петровициту.

4. Выявлена гетерогенная псевдоморфоза распада минерала R_3Se_2, сложенная берцелианитом и минералом, по составу близким к безсернистому соучекиту.

Литература

1. Harlass E., Schützel H. Zur Stellung der Barytgänge in der Walframitlagerstatte Aue (Sachsen) // Z.f. angew. Geol. 1965. Bd. 11, H. 10. S. 521-524.

2. Barsukow W.L., Beljajew I.F., Sjergeewa, Sokolowa K.T. Über die Herkunft einiger Komponenten, die Uran in den Lagerstätten der sog. Bi-Co-Ni-Ag-U-formation begleiten // Ibid. 1968. Bd. 14, H. 10. S. 512-519.

3. Рыжов Б.И. "Бурошпатовые" жилы Саксонских Рудных гор (ГДР) и место в них селеновой минерализации // Месторождения урана: зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат, 1970. С. 156-184.

4. Дымков Ю.М. Парагенезис минералов урановосных жил. М.: Недра, 1985. 207 с.

5. Дымков Ю.М., Лосева Т.И., Завьялов Е.Н. и др. Мгриит $(Cu,Fe)_3AsSe_3$ - новый минерал // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1982. Ч. 3, вып. 2. С. 215-219.

6. Дымков Ю.М., Рыжов Б.И., Завьялов Е.Н., Цветкова М.В., Щербачев Д.К. Bi - разновидность петровицита из доломитовых жил Рудных гор // Докл. АН СССР. 1989. Т. 306, № 6. С. 1451-1455.

7. Бойцов В.Е., Дымков Ю.М. Уран-селен-ванадиевое оруденение карбонатно-настурановых жил // Месторождения урана: Зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат, 1970. С. 119-155.

8. Johan Z.L., Picot P., Ruhlmann F. Evolution paragénétique de la mineralisation uranifére de Chaméane (Puy-de-Dôme), France: chaméanita, geffroyite et giraudite, trois selenures nouveaux de Cu, Fe, Ag et As // TMPM. 1982. Vol. 29. P. 151-167.

9. Хворостенко А.С., Кириленко В.В., Попов Б.И. и др. Диаграмма состояния системы As_2Se_3-Cu_2Se // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1972. Т. 8, № 1. С. 73-79.

10. Савап Я., Кожина И.И., Орлова Г.М., Биндер Х. Исследование кристаллизации стекол в системе As-Se-Cu // Там же. 1969. Т. 5, № 3. С. 492-497.

11. Орлова Г.М., Аминборшвили Н.А., Кожина И.И., Дорогопунцева А.П. О характере структурно-химического взаимодействия компонентов в стеклообразной системе As-Se-Cu // ЖПХ. 1972. Т. 45, № 2. С. 2385-2389.

12. Чвилева Т.Н., Клейнбок В.Е., Безсмертная М.С. Цвет рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1977, 189 с.

13. Johan Z., Kvaček M., Picot P. - La petrovicite, $Cu_3HgPbBiSe_5$, un nouveau mineral // Bull. Soc. fr. miner. cristallogr., 1976. Vol. 99, N 5. P. 310-313.

14. Ü e l s n e r O. Über ein vorkommen von coffinit im sächsischen Erzgebirge und methoden zu seiner erkennung // Geologie. 1961. Bd.10. H. 7. S. 818-823.

I5. Барсуков В.Л. Кварцево-кальцит-настурановые жилы Рудных гор и место в них коффинита (опыт онтогенетического анализа) // Вопросы прикладной радиогеологии. М.: Атомиздат, I967. С. I50-I94.

I6. Дубакина Л.С., Стрелкина Е.М. К минералогии кварцево-карбонатно-айкинито-настурановой ассоциации Рудных гор//Минералы и парагенезисы минералов рудных месторождений. Л.: Наука, I973. С. 55-6I.

I7. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, I957. 867 с.

I8. Berry L.G., Thompson R.M. X-ray data for ore mineral; the Peacock atlas // Geol. Soc. Amer. Mem. 1962. Vol. 85. 281 p.

I9. Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, I988. 504 с.

УДК 549.6I2

П.В.Осипов, В.Н.Столповская

ЩЕЛОЧНОДЕФЕКТНЫЙ ХРОМ-АЛЮМИНИЕВЫЙ ДРАВИТ - НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТУРМАЛИНА ИЗ МАССИВА САРЫКУЛЬБОЛДЫ

В турмалинах из ультраосновных массивов распространенной изоморфной примесью является хром [4,I0,I3 и др.], но лишь в отдельных случаях он входит в структуру минерала в значительном количестве [II]. Описана разновидность с аномально высоким содержанием оксида хрома (3I,6 мас.%), найденная в слюдистых метасоматитах [8]. Показано, что хром может замещать любой из катионов в Y - и Z-позициях, следовательно, хромсодержащие разности возможны практически среди всех типов в группе турмалинов [I,3,8,II].

Найденный и изученный нами турмалин является неизвестной хромсодержащей разновидностью. Минерал щелочнодефектный, богатый хромом и алюминием, по кристаллохимическим свойствам близкий к синтезированным бесщелочным алюминиевым дравитам [I4, I5], состав которых может быть в общем представлен формулой

$$\square(Mg_2Al)_3Al_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4.$$

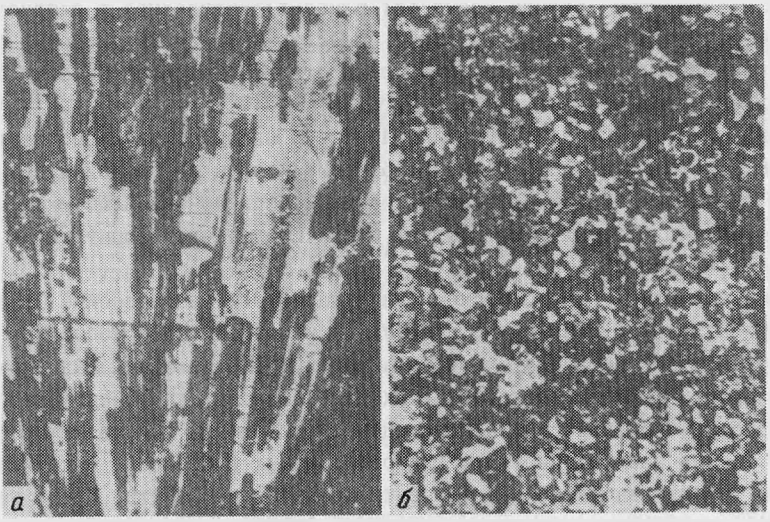
Появление турмалина в ордовикском дунит-гарцбургитовом массиве Сарыкульболды (Центральный Казахстан) связано с длительной историей преобразования его пород. На ранних этапах автометасоматического замещения ультрамафиты были локально серпентинизированы. Наиболее глубокие их изменения вызвало внедрение гранитной интрузии карбонового возраста, полукольцом опоясывающей массив. Преимущественно углекислый состав эволюционирующих гидротермальных растворов, отделившихся от гранитоидов, обусловил площадную серпентинизацию гипербазитов, по которым впоследствии при воздействии вторичных процессов формировались породы качественно нового и отличающегося от первичного состава. В основании колонки метасоматитов распространены магнезиально-карбонатные породы, выше - тальк-лимонитовые и венчают разрез кремнисто-лимонитовые разности. Наиболее значительные изменения ультрабазиты претерпели в зонах долгоживущих нарушений северо-западного простирания, где на различных стадиях гидротермального метаморфизма образовались метасоматиты существенно хлоритового состава с шерлом-дравитом, кварцевые жилы с зеленым турмалином, жилы преимущественно магнетитового состава, происходило дробление пород, их оталькование и образование талькитов. Минералого-петрографи-

ческая характеристика пород и структурно-геологические особенности интрузива подробно рассмотрены в специальных работах [5, 6 и др.].

Кварцевые жилы с турмалином встречены в южной части массива и представлены чаще всего глыбовыми развалами. Располагаются они в осевой части разлома, где прослеживаются по простиранию на расстояние до 100 м. Мощность тел не превышает 0,2-0,3 м. Кварц - основной минерал жил, серого цвета; его ксеноморфные зерна интенсивно катаклазированы, что подчеркивается их мозаично-облачным и волнистым погасанием в шлифах в поляризованном свете. На участках дробления кварц цементируется халцедоном и тальком.

В качестве акцессорного минерала в жилах присутствует магнетит, часто образующий скопления зернистых агрегатов.

Турмалин является вторым по распространенности минералом в кварцевых жилах. Его игольчатые кристаллы 6-8 мм длиной и 0,05-0,25 мм в поперечном сечении образуют радиально-лучистые розетковидные срастания. Окраска минерала яркая, травяно-зеленого цвета. Подобно кварцу, турмалин катаклазирован, в шлифах видно, что его кристаллы изогнуты и трещиноваты, трещины "залечены" пластинчато-чешуйчатыми агрегатами талька или волокнистым халцедоном. Более значительные изменения турмалина выявлены в аншлифах, где в отраженном свете хорошо видно (рис. I,а,б), что его кристаллы интенсивно корродированы, от них сохраняется каркас причудливых форм (см. рис. I,б) с заполнением пустот растворения тальком.



Р и с. I. Щелочно-дефектный хром-алюминиевый дравит в параллельном (а) и перпендикулярном (б) удлинению кристаллов сечениях

Корродированные зерна турмалина (светло-серое), растворенное пространство которых заполнено тальком (черное). Аншлиф, николи II, увел. 240

Твердость минерала измерялась на приборе ПМТ-3 в двух сечениях: перпендикулярном удлинению кристалла и параллельном ему при нагрузке 50 г и в течение 10 с. Вычисленные средние значения из 10 замеров составили в первом сечении 1134,5 кгс/мм^2, во втором - 1328,8 кгс/мм^2.

Оптически минерал одноосный, отрицательный, показатели преломления, измеренные в иммерсии, N_o = 1,634, N_e = 1,610; слабо плеохроирует $N_o > N_e$: N_o - бледно-зеленый, N_e - бледно-желтый.

Химический состав турмалина изучен микрозондовым анализом (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Л.Н.Поспелова) в 10 точках. В качестве эталонов на основные компоненты использовались диопсид, альбит, ортоклаз и гранаты разного состава. Этим же методом выполнен анализ на Ni, Co, Zn и V, показавший их отсутствие в минерале. О слабой насыщенности турмалина элементами-примесями свидетельствуют результаты полуколичественного спектрального анализа, которым обнаружены в небольшом количестве Mn ($1 \cdot 10^{-2}$%), Ti ($4 \cdot 10^{-2}$%), Zr ($5 \cdot 10^{-3}$%) и Sc ($3 \cdot 10^{-3}$%).

Данные микрорентгено-спектрального анализа представлены в табл. 1, из которой следует, что хром и прочие катионы распределены по кристаллу относительно равномерно. Пересчет результатов анализа (по среднему значению) проведен на 15 катионов, в итоге кристаллохимическая формула турмалина имеет следующий вид: $(Na_{0,24}Ca_{0,01})_{0,25}(Mg_{1,72}Al_{0,79}Cr_{0,48}Fe^{2+}_{0,01})_{3,00}Al_{6,00}B_{3,00}(Si_{5,87}Al_{0,13})_{6,00}O_{27,00}(O_{0,64}OH_{3,36})_{4,00}$. Она соответствует щелочнодефектному дравиту, в котором магний более чем на треть замещен трехвалентными алюминием и хромом, а компенсация зарядов осуществляется главным образом по схеме $Na + Mg^{2+} \longleftarrow \square \times + (Al^{3+} + Cr^{3+})$, т.е. по щелочнодефектному типу.

Структурные особенности турмалина изучались методами рентгенографии и ИК-спектроскопии. Рентгенограмма (табл. 2) получена на приборе ДРОН-3 с использованием CuK_α-излучения и графитового монохроматора. Параметры элементарной ячейки, рассчитанные по рефлексам 051 и 122 с использованием NaCl в качестве внутреннего стандарта, имеют значения: a_o = 15,89 и c_o = 7,13 Å. Их низкие величины объясняются присутствием в Y-октаэдрах значительного количества алюминия, элемента с малым размером ионного радиуса.

Таблица 1

Состав (в %) турмалина по данным микрозондового анализа

№ п/п	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
1	35,53	0,02	35,35	4,07	0,06	0,03	7,13	0,02	0,88	Не обн.
2	35,54	0,03	36,07	3,33	0,07	0,03	7,23	0,03	0,82	"
3	35,81	0,02	35,69	3,96	0,05	0,02	6,86	0,02	0,72	"
4	35,75	0,02	36,24	3,56	0,04	0,03	7,02	0,02	0,76	"
5	36,10	0,03	36,49	2,43	0,04	0,01	7,39	0,01	0,58	"
6	35,94	0,02	35,27	4,15	0,13	0,03	7,16	0,04	0,85	"
7	35,93	0,02	35,33	4,08	0,10	0,02	7,06	0,03	0,66	"
8	36,09	0,02	35,86	4,08	0,03	0,02	6,92	0,02	0,82	"
9	36,08	0,03	36,21	3,50	0,08	0,03	6,84	0,02	0,81	"
10	35,93	0,02	35,75	3,83	0,07	0,02	6,91	0,02	0,86	0,01
Среднее	35,82	0,02	35,83	3,70	0,07	0,03	7,05	0,02	0,78	-

Таблица 2

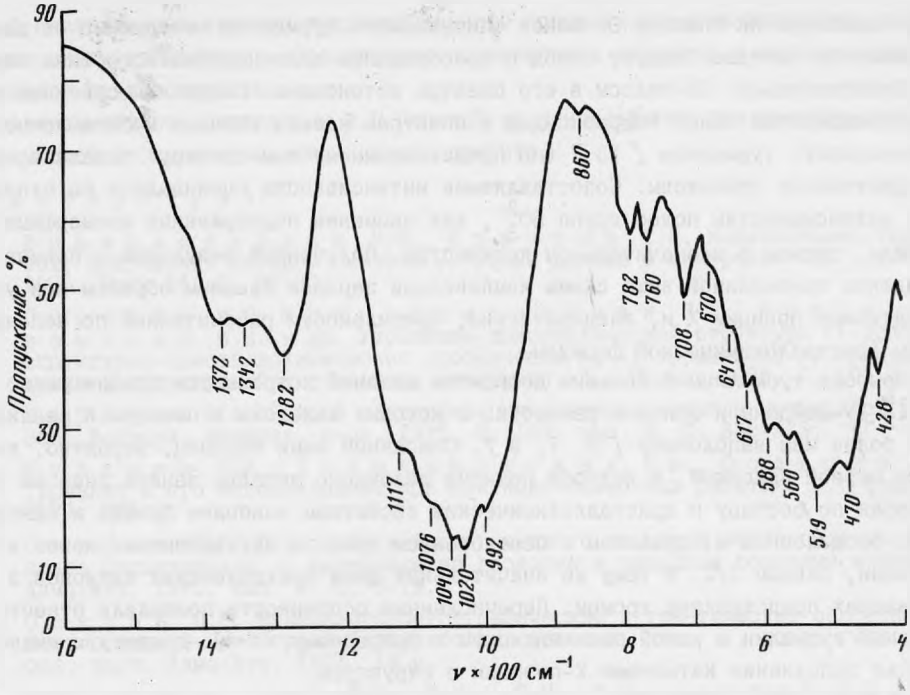
Порошковые дифракционные данные щелочнодефектного хром-алюминиевого дравита

d, Å	I/I_o	d, Å	I/I_o	d, Å	I/I_o
7,98	6	2,485	I	I,9I4	6
6,36	6	2,473	I	I,899	2
4,98	4	2,385	2	I,869	2
4,60	I0	2,368	3	I,847	3
4,22	II	2,34I	7	I,820	<I
3,98	I00	2,298	I	I,773	I
3,46	9	2,I84	2	I,737	I
3,38	4	2,I6I	4	I,685	I
3,I2	I4	2,I3I		I,654	3
3,0I	8	2,II7	2	I,639	5
2,950	9	2,I07	I	I,59I	I0
2,894	I	2,036	7	I,583	I
2,638	<I	2,0I8	3		
2,573	29	I,99I	2		

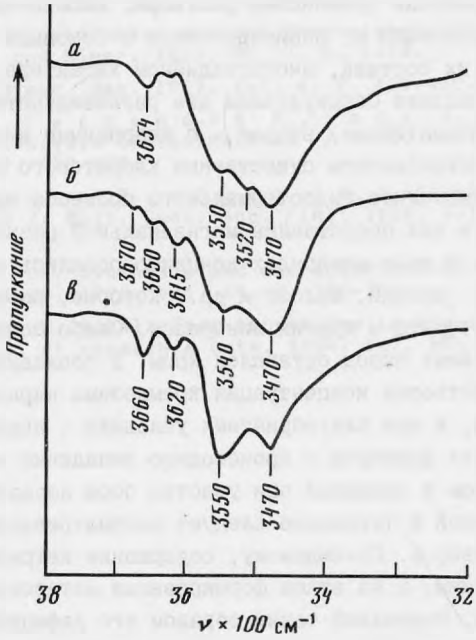
Примечание. Рефлексы талька в таблицу не занесены.

На рис. 2 представлен ИК-спектр исследуемого турмалина в области 400-I600 $см^{-I}$. Спектр записан на спектрофотометре "Specord 75IR" по методу компенсации. Образцы готовились в виде таблеток с KBr. В пучок сравнения помещалась таблетка с тальком, концентрация которого подбиралась так, чтобы интенсивности полосы 3678 $см^{-I}$, принадлежащей почти исключительно тальку, в спектрах обеих таблеток были сопоставимы. Опираясь на приведенные в [4] по турмалину результаты детального анализа ИК-спектров весьма представительной коллекции образцов, включая и литературные данные, можно сделать некоторые заключения о структурных свойствах изученного минерала. Многочисленность полос поглощения в области 400-I400 $см^{-I}$ при небольшой их ширине является следствием преимущественно упорядоченного распределения октаэдрических катионов по структурным позициям, в данном случае октаэдров Y, ибо Z-октаэдры целиком заняты алюминием. Об этом свидетельствуют, в первую очередь, появление дополнительных полос в области 550-670 $см^{-I}$, где проявляются колебания, связанные с участием октаэдрических группировок (YO_6), а также расщепление на два компонента - 760 и 782 $см^{-I}$ - полосы поглощения, обусловленной колебанием ν_s(Si-O-Si) цикла Si_6O_{18} с измененной симметрией.

Недавно проведено тщательное исследование спектров турмалинов разного состава в области OH-валентных колебаний и предложена модель идентификации полос поглощения в этой области частот [I2]. Авторы модели продемонстрировали ее на бесщелочных Al-дравитах, спектры которых мало отличаются в области OH-полос от спектра исследованного нами турмалина (рис. 3). Поэтому по аналогии в спектре последнего два самых сильных компонента с частотами 3470 и 3550 $см^{-I}$ приписываются нами OH-ионам, координированным самыми многочисленными в октаэдрах Y и Z группировками соответственно AlAlAl и AlAlMg. Нечеткое разрешение этих основных компонентов является следствием положения полос с промежуточными частотами и участием хрома.



Р и с. 2. ИК-спектр щелочно-дефектного хром-алюминиевого дравита С-I в области 400-I600 см$^{-1}$



Р и с. 3. ИК-спектры турмалинов в области ОН-валентных колебаний

а - образец С-I; б - щелочно-свободный Al-дравит [I4]; в - щелочно-свободный турмалин [I5]

Из характера ИК-спектра ОН-ионов описываемого турмалина независимо от данных о химическом составе следует вывод о преобладании щелочнодефектного типа замещения. Действительно, ОН-полосы в его спектре интенсивны. Полуколичественная оценка интенсивностей полос гидрооксидов в спектрах нашего образца и бесщелочного синтетического турмалина [I5] (по представленному там спектру) показала, что они практически одинаковы. Сопоставляемые интенсивности оценивались по отношению к интенсивностям полос групп BO_3^{3-}, как наименее подверженных изоморфным замещениям, причем в незначительном количестве. Полученный результат - прямое подтверждение приведенной выше схемы компенсации зарядов главным образом при участии катионов позиции X и, следовательно, правильности рассчитанной по неполным данным кристаллохимической формулы.

В природе турмалины с большим дефицитом щелочей встречаются крайне редко [7, I5]. Найдены и описаны разности, в которых вакансия в позиции X реализуется не более чем наполовину [2, 7, 9]. Описанный нами образец, вероятно, является первой находкой, в которой позиция щелочного металла занята лишь на I/4 и которая по составу и кристаллохимическим свойствам наиболее близка к синтетическим бесщелочным Al-дравитам с соотношением трех- и двухвалентных ионов в Y-позиции, равным I/2. К тому же значительная доля трехвалентных катионов в Y-октаэдрах представлена хромом. Перечисленные особенности позволили отнести описанный турмалин к новой разновидности - природному Cr-Al -дравиту с низкой степенью заполнения катионами X-позиции в структуре.

Анализ геологической обстановки, в условиях которой кристаллизовался турмалин, позволил проследить взаимосвязь состава минерала и особенностей минералообразующей среды.Источником растворов была топарская гранитная интрузия,полукольцом опоясывающая ультрабазитовый массив Сарыкулболды и имеющая с ним на отдельных участках активные взаимоотношения. Генерируемые гранитами высококонцентрированные кремнистые растворы, насыщенные минерализаторами (Fe, B, Mg и др.), мигрировали и, взаимодействуя с боковыми породами, эволюционировали. Об изменении их состава, многостадийном характере минерагенеза свидетельствуют найденные на массиве Сарыкулболды две разновидности турмалина: первая из них связана с метасоматитами, вторая - с кварцевыми жилами.

Метасоматиты существенно хлоритового состава формировались на ранних этапах пневматолито-гидротермального процесса вдоль тектонически ослабленных зон. Хлорит в них представлен магнезиальной разностью, а турмалин является шерлом-дравитом. В этих минералах концентрировались основные компоненты растворов - алюминий, магний, железо и др., которые, по-видимому, частично были заимствованы из форстерита и других минералов. Слабо подвижным на ранних этапах изменения ультраосновных пород оставался хром. В последующие периоды гидротермального процесса в растворах концентрация кремнезема нарастала; они насыщались хромом и алюминием, и при благоприятных условиях - падении давления, снижении температуры и других факторов - происходило выпадение из растворов кремнезема в виде кварца, а хром и алюминий при участии бора образовывали хром-алюминиевый дравит.Дефицит щелочей в турмалине следует рассматривать в общей эволюции минералообразующих растворов. По-видимому, содержание натрия в них было изначально относительно невысоким, и на этапе формирования метасоматитов он был связан в минерале шерл-дравите. Возникший таким образом его дефицит в гидротермах не мог быть восполнен за счет выноса из боковых пород, дунитов массива, характеризующихся крайне низкими содержаниями натрия. Это и явилось, по нашему мнению, основной причиной образования щелочнодефицитного турмалина.

С последующими этапами гидротермального процесса следует связывать частичное растворение турмалина с образованием коррозионных структур и заполнением образовавшихся пустот тальком.

Авторы глубоко благодарны М.Г.Горской за консультации при расчете кристаллохимической формулы хром-алюминиевого дравита.

Литература

1. Воскресенская И.Е., Иванова Т.Н. Исследование турмалинов, полученных методом синтеза // Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1975. Вып. 24. С. 20-30.
2. Горская М.Г., Франк-Каменецкая О.В., Рождественская И.В. и др. Уточнение кристаллической структуры ^{Al}-дравита; структурно-кристаллохимические особенности Mg-Al-турмалинов // Кристаллохимия и структурный типоморфизм минералов. Л.: Наука, 1985. С. 105-114.
3. Корнетова В.А. О классификации минералов группы турмалинов // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1975. Ч. 103, вып. 3. С. 332-336.
4. Кузьмин В.И., Добровольская Н.В., Солнцева Л.С. Турмалин и его использование при поисково-оценочных работах. М.: Недра, 1979. 269 с.
5. Осипов П.В. Особенности геологического строения месторождения хризопраза Сарыкулболды // Материалы по геологии и нерудным полезным ископаемым. Алма-Ата, 1975. Вып. 3. С. 6-13.
6. Осипов П.В. Минералого-петрографические и генетические особенности месторождения хризопраза Сарыкулболды: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Алма-Ата, 1977. 19 с.
7. Перетяжко И.С., Шмакин Б.М., Загорский В.Е., Бобров Ю.Д. Богатые алюминием дравиты из пегматитов Непала и Центрального Забайкалья // Докл. АН СССР. 1986. Т. 289, № 2. С. 475-479.
8. Румянцева Е.В. Хромдравит - новый минерал из Карелии // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1983. Ч. 112, вып. 2. С. 222-226.
9. Соколов П.Б., Горская М.Г., Гордиенко В.В. и др. Оленит $Na_{1-x}Al_3Al_6B_3Si_6O_{27}(O,OH)_4$ - новый высокоглиноземистый минерал из группы турмалинов // Там же. 1986. Ч. 115, Вып. 1. С. 119-123.
10. Cossa A., Arzruni A. Chromturmalin aus den Chromeisenlagern des Urals // Ztschr. Kristtalogr. und Miner. 1883. Bd. 7. S. 1-16.
11. Dunn P.I. Chromium in dravite // Miner. Mag. 1977. Vol. 6. P. 408-410.
12. Gonzalez-Carreno T., Fernandez M., Sanz J. Infrared and electron microprobe analysis of tourmalines // Phys. and Chem. Miner. 1988. Vol. 15, N 5. P. 452-460.
13. Peltola E., Vuorelainen T., Hökli T.A. A chromian tourmaline from Outokumpu, Finland // Bull. Geol. Soc. Finl. 1968. Vol. 40. P. 35-38.
14. Rosenberg P.E., Foit F.F. Synthesis and characterization of alkali-free tourmaline // Amer. Miner. 1979. Vol. 64. P. 180-186.
15. Werding G., Schreier W. Alkali-free tourmaline in the system $MgO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2-H_2O$ // Geochim. et cosmochim acta. 1984. Vol. 48, N 6. P. 1331-1344.

УДК 549.283 (574.24)

Э.М.Спиридонов

САМОРОДНОЕ РТУТИСТОЕ ЗОЛОТО СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Ртуть - характерный микроэлемент гидротермальных месторождений золота и гипогенного самородного золота. В большинстве месторождений преобладающая часть ртути заключена в сфалерите, блеклых рудах и других сульфидах. Лишь в редчайших золото-ртутных месторождениях с самородной ртутью известны амальгамы Au и Au–Ag, в составе которых содержание ртути равно или превышает содержание золота.

Самородное золото со значительными содержаниями ртути (более 5 мас.%) было обнаружено в 1973 г. Г.Н.Назьмовой в золото-антимонитовом месторождении Северного Казахстана и В.П.Самусиковым в Au–Sb–Hg проявлении Кючус (Якутия) [8]. Эта ртутистая разновидность самородного золота (α-амальгама золота) была изучена и описана Г.Н.Назьмовой и Э.М.Спиридоновым [4]. Позднее ртутистое золото, электрум и кюстелит были установлены в ассоциации с медистым золотом в лиственитизированных породах месторождения Золотая Гора (Средний Урал) [3, 5, 7]; ртутистое золото - в плутоногенных малосульфидных золото-кварцевых месторождениях Аллегани (Калифорния) [21], Чувальское (Урал) [3] и рудопроявлениях Камчатки и Чукотки [6], в вулканогенных золото-колчеданном месторождении Северное (Урал) [3] и золото-антимонитовом месторождении Цугу (Япония) [19], в телетермальных месторождениях Au-U, Миттенберг (Австрия) [18], и Sb-Hg (Средняя Азия) [2]; ртутистые золото и электрум - в вулканогенных золото-колчеданных месторождениях Хемло (Онтарио) [16], Шеллефтео (Швеция) [16,20], Кайрагач (Узбекистан) [1], в месторождениях Северного Урала [9]; ртутистый кюстелит - в полиметаллическом месторождении Раджпура-Дариба (Индия) [15]. Все эти месторождения возникли в условиях пониженной фугитивности серы.

Наибольший интерес среди перечисленных представляет месторождение Кварцитовые Горки в Северном Казахстане, которое хорошо вскрыто подземными выработками и скважинами; здесь самородное ртутистое золото ассоциирует с множеством рудных минералов.

Месторождение Кварцитовые Горки

Месторождение представлено серией рудных штокверков вдоль долготных разрывов, оперяющих глубинный Целиноградский разлом. Рудные тела расположены в центральной части ореолов березитизированных и лиственитизированных пород и представляют собой те же метасоматиты с несколькими поколениями прожилков кварцевого, карбонат-кварцевого и карбонатного состава с вкрапленностью, гнездами и прожилками сульфидов и золота. Короткометражные карбонат-кварцевые жилы редки. Рудные тела залегают среди вулканогенно-известняково-черносланцево-фтанитовой кварцитогорской свиты C_2, в меньшей степени - среди вулканогенной дацит-андезит-базальтовой аксуйской свиты O_1 и граувакковой караказской свиты O_{1-2}. Около 70% разреза кварцитогорской свиты составляют пиритоносные фтаниты, лидиты, аргиллиты, углеродистые глинистые и кремнистые сланцы и известняки, пирититовые ритмиты. Эти породы обогащены углеродистым веществом $C_{орг(ср.)}$ = 2,5 (до 12 мас.%), пиритом 3,5 (до 80), P и Ba до 2, Cr до 0,3 мас.%, V 390 (до 2000) г/т, Mo 45 (до 1000), Ag 0,2 (до 1,9), B до 1000, Se до 1,1 г/т; осадочный пирит содержит в среднем (максимально, г/т): Ag 0,65 (1,5); Au 0,06 (0,20); Te ⩽ 0,2 (0,4); Se 1,2 (3,1) [11] Региональный метаморфизм рудовмещающих толщ отвечает

цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям, углеродистое вещество в них представлено графитоидом.

Сложнодислоцированные осадочные и вулканогенные толщи прорваны небольшими интрузивами кварцевых габброидов, тоналитов и гранодиоритов крыккудукского комплекса O_3, с ними связаны локальные ореолы роговиков. Послеинтрузивные образования крыккудукского комплекса представлены дайками микродиоритов, спессартитов, гранодиорит- и диорит-порфиритов и гидротермальными метасоматитами - пропилитами малоглубинной хлоритовой фации и более молодыми березитами-лиственитами с сопутствующим золотым оруденением. Калий-аргоновый возраст золоторудных концентраций по серициту составляет 442-456 млн лет (поздний ордовик) [I4]. Фации золотоносных метасоматитов: березиты серицитовые, Cr-лейкофиллитовые, пирофиллитовые, березиты-кварциты; лиственитs серицитовые, Cr-лейкофиллитовые, парагонитовые, пирофиллитсодержащие, тальксодержащие. При процессах среднетемпературного сероводородно-углекислотного гидротермального метасоматоза (березитизации-лиственитизации) углеродистое вещество черносланцевой кварцитогорской свиты было частично мобилизовано и концентрировалось в березитах-лиственитах и карбонат-кварцевых жилах и прожилках; это графитоид с неупорядоченной структурой, легкие и средние битумоиды.

По геологическим данным определено, что Кварцитовые Горки формировались на глубинах I-I,5 км. Оценка давления в ходе рудообразования по сфалерит-пирротин-пиритовому геобарометру - около 0,5 кбар. Результаты криометрических исследований и гомогенизации первичных углекислотно-водных и водно-углекислотных (с жидкой CO_2) включений в кварце и карбонатах дают 0,8 кбар (I-я Кварцитовая Горка) и 0,3 кбар (2-я Кварцитовая Горка) [I2]. Таким образом, Кварцитовые Горки - наименее глубинное из плутоногенных месторождений золото-кварцевой формации Северного Казахстана.

В Кварцитовых Горках пирит составляет 2-I5%, обычно 5-9% рудной массы, арсенопирит - около I%, сфалерит - 0,I-0,2%, антимонит - 0,0I-0,2%, сурьмяные сульфосоли свинца - 0,03-0,05%, блеклые руды - 0,04-0,05%. Кварцитовые Горки в сравнении с другими месторождениями той же формации обогащены Ag, Sb, Hg и Cd, обеднены Te, Bi и W. Средняя величина Au/Ag в рудах равна 0,8. Средние содержания ртути в рудах 5-20 г/т, максимальные - 2000 г/т. Средняя величина Au/Hg в рядовых рудах I-I,5 (от 0,2 до II), в рудных столбах - 0,7-0,8, в верхних частях богатых рудных столбов - 0,5-0,6. Для сравнения в более глубинных месторождениях той же формации Au/Hg в рудах составляет от 25 до 6500.

Ранее считалось, что практически вся масса золота Кварцитовых Горок находится в субмикроскопических выделениях в сульфидах, главным образом в пирите. Наши наблюдения показали, что микроскопически видны золотинки в пробах с содержанием 2-3 г/т Au и выше. Поминеральные балансы показали, что более 80% массы Au находятся в рудах в самородной форме. Содержание Au в пирите Кварцитовых Горок колеблется от 0,05 до 40 г/т, обычно составляет 6-20 г/т, в арсенопирите - от I,I до I9 г/т, обычно около I0 г/т.

В районе рудного поля послерудный метаморфизм не проявлен. Вдоль северо-восточных (и частью долготных) разрывов, секущих рудные зоны, локально проявлена уран-молибденовая минерализация D_{2-3}. Вдоль наиболее молодых долготных разрывов и оперяющих их трещин в отдельных небольших участках развита телетермальная таллиеносная барит-реальгар-антимонитовая минерализация P_2-T_I.

Минеральные ассоциации Кварцитовых Горок

Рудная минерализация позднеордовикского возраста представлена шестью ассоциациями (табл. I). Первые пять ассоциаций имеют устойчивый состав во всем объеме месторождения. Температура гомогенизации газово-жидких включений в кварце и карбонатах ранней карбонат-кварцевой ассоциации 310-255°С, концентрация солей во включениях 6-7 экв.% NaCl, концентрация углекислоты 2,1-2,6 моль/кг раствора, газово-жидкие включения содержат примесь метана. Широко распространенная ранняя полиметаллическая ассоциация включает арсенопирит (с нормальной зональностью: ядро обогащено As, края - S), теннантит и тетраэдрит (Ag 0,4%; Hg следы-0,3%). Размер выделений самородного золота ранней продуктивной ассоциации от I до 50 мкм, пробность - 823-896, в среднем 863, содержание ртути - следы. В центральных частях рудных тел минеральные агрегаты ранних стадий кливажированы и брекчированы, в заметной степени замещены агрегатами минералов поздних полиметаллической и продуктивной ассоциаций. При этом пирротин замещен бертьеритом, кубанит и халькопирит - халькостибитом и джемсонитом, галенит - цинкенитом и т.п.

Широко распространенная в рудных телах поздняя полиметаллическая ассоциация представлена радиально-лучистыми агрегатами мышьяковистого пирита (2,5-5 мас.% As; до 0,8 мас.% Sb), арсенопиритом, маложелезистым ртутистым сфалеритом (от 0,2 до 6,5%, в среднем около I% Hg), с гнездами и прожилками кальцита черного цвета из-за обилия включений графитоида (см. табл. I). Температуры декрепитации пирита в атмосфере аргона 250-220°С, гомогенизации газово-жидких включений в кальците 230-205°, в позднем кальците 210-170°С. Зональность арсенопирита во 2-й Кварцитовой Горке обратная (внешние зоны заметно богаче As, чем внутренние), в I-й Кварцитовой Горке и других рудных телах - прямая.

Агрегаты минералов поздней, главной, продуктивной ассоциации (антимонит, сурьмяные сульфосоли Pb, Fe, Cu, Ag и самородное ртутистое золото) слагают микро- и макрогнезда, прожилки, метасоматические вростки, тонкую рассеянную вкрапленность среди всех более ранних образований, цементируют их обломки. Часто они развиты в прожилках и гнездах кальцита черного цвета. Выделения ртутистого золота в таких гнездах окружены зонами кальцита белого цвета, где органическое вещество "выгорело". Таким образом, мобилизованное в рудные зоны органическое вещество явилось геохимическим барьером, на котором произошло концентрированное осаждение золота. По соотношению с другими минералами и между собой выделены три генерации самородного ртутистого золота. Бо́льшая его часть принадлежит I генерации: около 95% массы Au 2-й Кварцитовой Горки, заметная часть Au I-й Кварцитовой Горки, вся масса Au остальных рудных тел (см. табл. I, 2).

Эволюция минерального состава продуктивной ассоциации различна для I-й и 2-й Кварцитовых Горок. Очевидно, с этого времени здесь действовали две обособленные рудоносные гидротермальные системы. Эволюция микропарагенезов продуктивной ассоциации следующая.

I-я Кварцитовая Горка: антимонит + цинкенит + бертьерит + джемсонит + халькостибит + бурнонит ⟶ антимонит + джемсонит + бурнонит + тетраэдрит ($Ag_{ср.}$ 5,2; Hg 0,49 мас.%) + самородное ртутистое золото-I ⟶ бурнонит + буланжерит + мышьяковистый Ag-тетраэдрит (Ag 21,9; Hg 0,12 мас.%) + самородное ртутистое золото-2 + галенит ⟶ галенит + аргентотеннантит [I3] (Ag 31,1 мас.%; Hg - следы) с каймами обрастания аргентотетраэдрита (Ag 31,5 мас.%; Hg- следы) + самородное ртутистое золото (ртутистый электрум)-3. Итак, в I-й Кварцитовой Горке эволюция

Таблица I

Минеральные ассоциации месторождения Кварцитовые Горки

Раннеордовикская минерализация			Эпидот, хлорит, пренит, пумпелиит, кварц, карбонат, аксинит, магнезиоаксинит, фенгит, титанит
Позднеордовикская минерализация	Ассоциация роговиков		Актинолит, биотит, олигоклаз, кварц, магнетит, пирротин
	Ассоциация пропилитов		Хлорит, эпидот, альбит, кальцит, титанит
	Ассоциации лиственитов-березитов и кварцеворудных образований	Реликтовая	Осадочный пирит, хромит
		Ранняя	Кварц, анкерит, сидерит, хлорит, серицит, Cr-фенгит, пирофиллит, пирит, пирротин, магнетит, шеелит, рутил, тальк, парагонит, графитоид
		Ранняя полиметаллическая	Пирит, арсенопирит, пирротин, кубанит, халькопирит, борнит, сфалерит, теннантит, герсдорфит, Ni-пирит, галенит, джемсонит, бурнонит, кальцит, смешаннослойные глинистые минералы
		Ранняя продуктивная	Галенит, тетраэдрит, самородное золото
		Поздняя - главная полиметаллическая	As-пирит, арсенопирит, анкерит, Fe-доломит; Hg-сфалерит, кальцит, каолинит, графитоид
		Поздняя - главная продуктивная	I-я Кварцитовая Горка: Галенит; Аргентотеннантит; Аргентотетраэдрит; Ртутистое золото-2; -; -; Ртутистое золото-3 2-я Кварцитовая Горка: Фаматинит; Андорит; Рощинит; Ртутистое золото-2; Миаргирит; Кубанит; Ртутистое золото-3 3-я Кварцитовая Горка и др.: -; -; -; -; -; -; - Антимонит, цинкенит, бертьерит, джемсонит, хальокостибит, бурнонит, Hg-Ag-теннантит, Hg-Ag-тетраэдрит, самородное ртутистое золото-I
	Послерудная ассоциация		Кальцит, ломонтит
Средне-позднедевонская минерализация			Анкерит, альбит, Mn-кальцит, Fe-хлорит, пирит, гематит, анатаз, аршиновит, TR-апатит, иордизит, коффинит, уранинит
Позднепермская минерализация			Кальцит, анкерит, кварц, барит, реальгар, парареальгар, аурипигмент, антимонит, сфалерит, твиннит, вюртцит, Hg-теннантит, самородное золото, арсенопирит, Sb-акташит, Sb-эллисит, дюранусит

Таблица 2

Средний химический состав (в мас.%) самородного ртутистого золота различных генераций месторождения Кварцитовые Горки

Рудное тело	Число анализов	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность	
						вариации	средняя
I генерация							
I-е	7	90,4	5,7	4,9	I0I,0	882-908	895
2-е	256	86,6	8,I	4,9	99,6	803-923	869
3-е	8	84,8	I0,3	5,4	I00,5	835-866	844
5-е	3	88,I	8,3	2,3	98,7	876-898	893
П генерация							
I-е	27	76,9	20,0	3,4	I00,3	7I3-8I7	767
2-е	92	75,6	I8,6	5,9	I00,I	688-843	755
Ш генерация							
I-е	9	68,5	29,3	I,7	99,5	674-697	688
2-е	4	64,5	25,I	II,8	I0I,4	629-642	636

Примечание. Микрозонд JXA-5, "Camebax"; анал. Э.М.Спиридонов, Д.М.Дашевская. Число анализов примерно соответствует распространенности разновидностей золота.

рудоносных гидротерм шла с накоплением Ag, Pb, As и истощением Sb и Hg; практически вся масса серебра фиксировалась в блеклых рудах.

2-я Кварцитовая Горка: антимонит + цинкенит + халькостибит + бертьерит + джемсонит + теннантит (Ag 4,I;Hg 3,3 мас.%) с каймами мышьяковистого тетраэдрита (Ag 4,I;Hg 3,I мас.%) ⟶ антимонит + цинкенит + тетраэдрит (Ag 7,3;Hg I,6 мас.%) + самородное ртутистое золото-I ⟶ антимонит + цинкенит + халькостибит + Ag-тетраэдрит (Ag I3,2; Hg I,2 мас.%) + фаматинит + андорит-IV + самородное ртутистое золото-2 или антимонит + цинкенит + халькостибит + джемсонит + Ag-тетраэдрит + рощинит + самородное ртутистое золото-2 + андорит-IV + фюлёппит ⟶ антимонит + халькостибит + миаргирит + кубанит + самородное ртутистое золото (ртутистый электрум)-3. Итак, во 2-й Кварцитовой Горке эволюция рудоносных гидротерм шла с накоплением Ag, Sb, Hg и истощением Pb и As. В ранних парагенезах продуктивной ассоциации вся масса Ag заключена в блеклых рудах, в поздних парагенезах появились сульфосоли Ag-Pb (андорит, рощинит), а затем - и Ag (миаргирит). В ходе рудоотложения фугитивность серы понижалась, что фиксируется обратной зональностью арсенопирита и появлением кубанита в наиболее поздних микропарагенезах.

Самородное ртутистое золото

Химический состав минерала определен с помощью электронного микрозонда, условия съемки: 25 кВ, I5 нА, время счета для одного элементо-определения 50-I00 с, аналитические линии Au M_α, Hg M_α, Ag L_α; эталоны - химически анализированные высокопробное золото (для Au), гессит (Ag), колорадоит (Hg), чистые металлы - Sb, Cu, Fe; состав рассчитан по программе CORRECS. Балансы полиминерального размещения вростков самородного золота получены путем подсчетов в аншлифах большой площади с учетом размеров зерен золота.

Таблица 3

Размещение вростков самородного ртутистого золота среди минералов I-й Кварцитовой Горки

Минералы, вмещающие самородное ртутистое золото	Частота встречаемости по классу крупности золотин								Мас.% от всего количества золота	
	0,I-I мм		0,02-0,I мм		0,005-0,02 мм		<0,005 мм			
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Кварц	-	-	3	-	3	I	7	2	4,8	I,I
Карбонаты	25	-	II	8	6	5,5	4	4	6,5	5,4
Хлорит, серицит, каолинит	-	-	-	-	-	-	I	0,5	0,I	0,I
Пирит	75	-	69	92	8I	67	73	42	75,2	63,8
Арсенопирит	-	-	6	-	I	I,5	5	I,5	3,5	I,4
Сфалерит	-	-	7	-	3	I	3	I	3,8	0,9
Сурьмяные сульфосоли свинца	-	-	4	-	I	I	3,5	7	2,5	2,I*
Галенит	-	-	-	-	-	II	I	I8	0,3	II,6*
Блеклые руды	-	-	-	-	4,5	I2	2	24	2,6	I3,6*
Халькостибит, бертьерит	-	-	-	-	0,5	-	0,5	-	0,4	-
Мас.% от всего количества самородного золота	I,5	-	20,4	7,0	4I,6	73,I	36,5	I9,9	I00	

Примечание. А - рудное тело на глубине 3I0-330 м, учтены данные по 565 золотинам, площадь подсчета 940 см²; Б - рудный столб на глубине около 600 м, данные по 2I30 золотинам, площадь подсчета 345 см². Звездочкой отмечены вростки в пирите; с учетом вростков галенита, блеклой руды и сульфосолей свинца пирит содержит 9I% массы самородного золота руд. Подсчет выполнил Э.М.Спиридонов.

I-я Кварцитовая Горка. Самородное ртутистое золото слагает мелкие угловатые, неправильной формы или прожилковидные метасоматические вростки в мышьяковистом пирите, кальците, кварце и других минералах (табл. 3); размер их от долей до 300, обычно 3-20 мкм. Ртутистое золото-I, содержащее около 7 мас.% Ag и 4 мас.% Hg, ассоциирует с тетраэдритом, сурьмяными сульфосолями Pb (рис. I,а), антимонитом, сфалеритом. Ртутистое золото-2, содержащее около 20 мас.% Ag и 3 мас.% Hg, широко распространено, тесно ассоциирует с Ag-тетраэдритом (фрейбергитом), слагает мелкие метасоматические вростки в мышьяковистом пирите, в кальците, кварце, реже в арсенопирите и других сульфидах; установлено в ядрах некоторых зональных золотин, внешние зоны которых сложены ртутистым золотом-3. Состав ртутистого золота-2 из различных участков и по вертикали I-й Кварцитовой Горки относительно устойчив и не обнаруживает систематических колебаний (табл. 4). Многие выделения ртутистого золота-2 по составу зональные, внешние зоны на 2-4% богаче серебром. Самородное ртутистое золото (и ртутистый электрум)-3 развиты только в пределах рудных столбов, где сконцентрированы остаточные дифференциаты рудоносных гидротерм, наиболее богатые Ag, Au, Pb. Ртутистое золото(электрум)-3 содержит около 30 мас.% Ag и 2 мас.% Hg, ассоциирует с аргентотеннантитом, аргентотетраэдритом и галенитом (рис. I,б,в). Итак, в ходе рудоотложения в I-й Кварцитовой Горке состав самородного золота систематически обогащался Ag и обеднялся Hg.

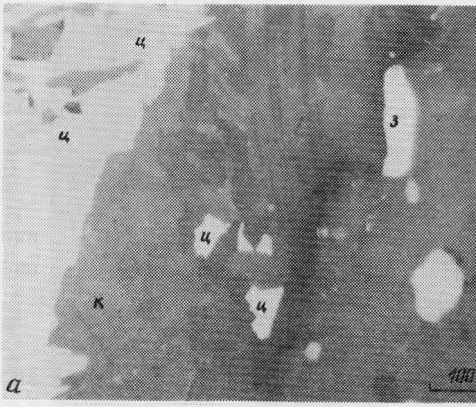
2-я Кварцитовая Горка. Самородное ртутистое золото слагает неправильной формы выделения размером от долей микрометра до 6 мм и прожилки, изредка наблюдаются кристаллики в форме кубоктаэдра и ромбододекаэдра. В рядовых рудах значительная часть самородного ртутистого золота (~60%) представлена

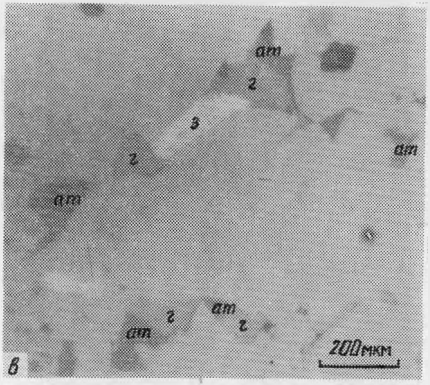
Таблица 4

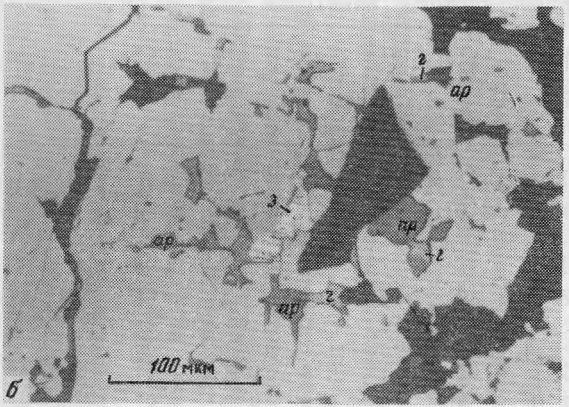
Химический состав (в мас.%) самородного ртутистого золота различных генераций I-й Кварцитовой Горки

Глубина отбора проб, м	Число анализов	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность	
						вариации	средняя
I генерация							
3I0	2	89,32	7,0I	3,77	I00,I0	889-895	892
35I	3	9I,66	3,83	5,96	I0I,45	899-908	903
407	2	89,65	7,06	4,40	I0I,II	882-89I	887
II генерация							
3I0	7	8I,29	I6,65	2,68	I00,62	796-8I7	808
35I	5	75,I6	I9,93	4,47	99,56	7I3-80I	755
420	8	73,55	23,35	3,60	I00,50	723-739	732
653	3	79,02	I7,93	3,68	I00,63	782-79I	785
704	4	79,I4	I9,I5	2,93	I0I,22	770-800	782
III генерация							
420	4	67,60	29,46	I,7I	98,77	674-70I	684
653	5	69,25	29,24	I,67	I00,I6	682-697	69I

Примечание. Микрозонд "Camebax"; анал. Э.М.Спиридонов, Д.М.Дашевская.


4
4
3
4
к
4
а


ат
2
3
2
ат
ат
ат
2
ат
2
200мкм
в



Р и с. I. Самородное ртутистое золото I-й Кварцитовой Горки

а - ртутистое золото-I (з) и цинкенит (ц) в прожилке кальцита (к); б - вростки ртутистого золота-3 (з), галенита (г), аргентотеннантита (ар) в мышьяковистом пирите; в - самородное золото-3 в ассоциации с галенитом и аргентотетраэдритом (ат) в промежутках между кристаллами As-пирита

Таблица 5

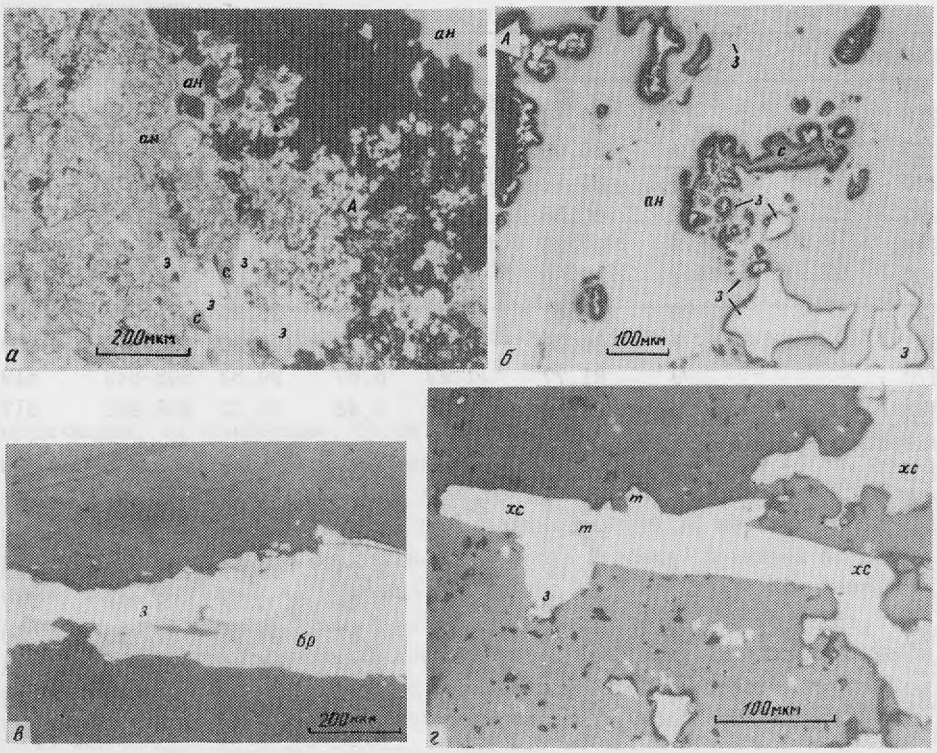
Размещение вростков и микропрожилков самородного ртутистого золота во 2-й Кварцитовой Горке

Минералы, вмещающие самородное ртутистое золото	Частота встречаемости по классу крупности золотин															Мас.% от всего количества самородного золота		
	>1 мм			0,1-1 мм			0,02-0,1 мм			0,005-0,02 мм			<0,005 мм					
	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
Кварц	-	2	-	3	9	I9	4	I4	23	3	I0	26	6	I3	25	3,4	5,4	I7,9
Кальцит, анкерит	-	28	20	I0	8	26	6	I6	32	8	I2	34	7	8	36	8,4	2I,4	33,0
Хлорит, серицит, пирофиллит, каолинит	-	-	-	-	0,5	2	-	I	3	I	3	4	I,5	I	9,5	0,I	0,3	2,4
Пирит электронный	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	Сл.	-	-
As-пирит дырочный	-	-	-	38	2	3	29	6	2	3I	9	0,5	33	I2	I	34,I	I,4	I,2
Арсенопирит	-	-	-	-	0,5	-	2,5	2	7	4	3	I	2	3	Сл.	I,I	0,4	0,7
Сфалерит	-	I	-	-	I	-	0,5	3	2	I	I	5	I	2	3	0,3	I,3	0,3
Антимонит	-	24	II	27	22	I5	37	I3	I2	33	I2	I0,5	36	I4	I7	3I,2	I8,0	II,I
Бертьерит	-	-	-	-	4	I	I	6	0,5	0,5	5	0,5	0,5	5	Сл.	0,4	5,3	0,7
Халькостибит	-	-	-	-	I	I	3	2	I,5	0,5	I	2,5	I,5	I	I	I,2	0,4	I,I
Сурьмяные сульфосоли свинца	-	25	5	9	3I	8	7	20	4	9	I5	6	9	9	5	8,2	26,3	6,9
Блеклая руда	-	20	32	I2	2I	I6	8	I7	I3	6	28	8	2	32	2	I0,I	I9,8	I8,I
Андорит, рощинит	-	-	I0	I	-	9	2	-	4	2	Сл.	2	-	-	0,5	I,4	Сл.	6,6
Миаргирит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	"	Сл.	-	-	-	0,I	"	Сл.
Мас.% от всего количества самородного золота	-	60,I	36,5	56,3	30,3	40,I	38,6	8,0	I7,9	3,9	I,4	4,4	I,2	0,2	I,I		I00	

Примечание. А - центральная часть рудного тела, учтены данные по I880 золотинам, площадь подсчета 920 см^2; Б - западный рудный столб, данные по I46I золотине, площадь подсчета 635 см^2; В - северный рудный столб, данные по 2099 золотинам, площадь подсчета I75 см^2. Глубина 306 м. Подсчет выполнил Э.М.Спиридонов.

выделениями размером 0,I-I мм, около 40% приходятся на золотины размером 0,02-0,I мм (табл. 5). В рудных столбах 40-60% массы ртутистого золота приходятся на золотины размером ≥I мм (в этих участках золото часто наблюдается макроскопически), доля мелкого золота незначительна. Метасоматические вростки ртутистого золота приурочены ко всем рудным и жильным минералам. В одних участках бóльшая часть золотин приурочена к антимониту, в других - к сульфоантимонидам Pb, в третьих - к кальциту или к кальциту и блеклой руде, в четвертых - к As-пириту, иногда к кварцу. В рядовых рудах бóльшая часть золотин обычно заключена в агрегатах сферолитов и микросферолитов As-пирита, проросших антимонитом, сульфосолями Pb, сфалеритом, фаматинитом, блеклой рудой. В одних рудных столбах вростки ртутистого золота примерно в равной степени насыщают цинкенит и другие сульфоантимониды свинца, антимонит, блеклые руды, кальцит; в других - кальцит, блеклые руды, антимонит и кварц (см. табл. 5).

Форма выделений самородного ртутистого золота-I весьма разнообразна - от микронных прожилочков до уплощенных золотин размером 6x3x0,5 мм, нередки зерна овальные и изометричные, кружевные выделения и т.п. Ртутистое золото-I ассоциирует с As-пиритом, арсенопиритом, антимонитом (рис. 2,а,б), маложелезистым Hg-сфалеритом, Ag-Hg-теннантитом и Ag-Hg- тетраэдритом, цинкенитом, бертьеритом (рис. 2,в), халькостибитом (рис. 2,г), кальцитом. Пробность золота колеблется



Р и с. 2. Самородное ртутистое золото I генерации 2-й Кварцитовой Горки

а - метасоматические вростки ртутистого золота (з) в As-пирите, проросшем антимонитом (ан) и арсенопиритом (А); б - ксеноморфные выделения и прожилки ртутистого золота в зернистом агрегате антимонита, сфалерита (с), арсенопирита; в - срастания ртутистого золота и бертьерита (бр) в гнезде кальцита; г - срастание изометричного кристалла ртутистого золота и пластинчатого кристалла халькостибита (хс) в березитах-кварцитах, Т - тетраэдрит

от 918 до 803, обычно 840-890. Минерал содержит (в мас.%): от 3 до 12 Ag; от 1,5 до 9 Hg; от следов до 0,21, обычно менее 0,1 Fe; от следов до 0,22, обычно менее 0,05 Cu и Sb. Более серебристое золото чаще встречается на верхних горизонтах рудного тела, более высокопробное - развито на нижних горизонтах(табл.6). Выделения ртутистого золота-I во многих случаях однородны по составу; более половины проанализированных зерен зональные - внешние зоны обогащены серебром (разница составляет до 4 мас.% Ag) или обогащены и серебром и ртутью (табл. 7, рис. 3).

Размер выделений самородного ртутистого золота П генерации от долей до 600, обычно менее 50 мкм. Оно ассоциирует с андоритом, рощинитом, Ag-тетраэдритом (фрейбергитом) (рис. 4), антимонитом, джемсонитом (рис. 5, 6), халькостибитом, кальцитом. Не так редко наблюдаются мелкие кристаллы золота - кубоктаэдры, ром-

Таблица 6

Химический состав (в мас.%) самородного ртутистого золота 2-й Кварцитовой Горки

Глубина отбора проб, м	Число анализов	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность	
						вариации	средняя
I генерация							
93	9	87,13	8,13	5,49	100,75	843-880	865
210	14	86,39	9,16	3,72	99,27	864-888	870
240	4	86,06	9,95	3,79	99,80	860-865	862
270	50	84,12	10,35	4,83	99,30	814-878	847
290	7	80,36	11,24	7,78	99,38	803-813	809
295	8	82,63	11,09	6,41	100,13	810-847	825
306	114	87,58	7,39	5,04	100,01	841-904	876
323	29	89,81	5,32	3,82	98,95	891-918	908
351	7	89,29	5,87	5,14	100,30	826-918	890
370	9	81,77	11,39	6,67	99,83	808-849	819
392	5	91,61	5,88	2,43	99,92	908-923	917
П генерация							
210	19	76,43	16,95	6,31	99,69	722-802	767
216	35	74,14	20,68	5,19	100,01	701-803	741
219	1	68,59	17,37	14,66	100,62	-	682
278	4	73,82	16,22	9,27	99,31	721-760	743
306	14	72,10	19,97	8,48	100,55	688-755	717
323	4	75,77	17,65	6,53	99,95	707-790	758
420	3	79,54	14,91	7,08	101,53	777-792	783
433	10	83,02	15,98	1,69	100,69	796-843	825
452	2	79,59	14,74	3,80	98,13	810-812	811
Ш генерация							
216	2	64,50	23,75	13,15	101,40	634-638	636
306	2	64,58	26,36	10,53	101,47	629-642	636

Примечание. Микрозонд JXA-5, "Camebax"; анал. Э.М.Спиридонов.

Таблица 7

Химический состав (в мас.%) зональных золотин 2-й Кварцитовой Горки

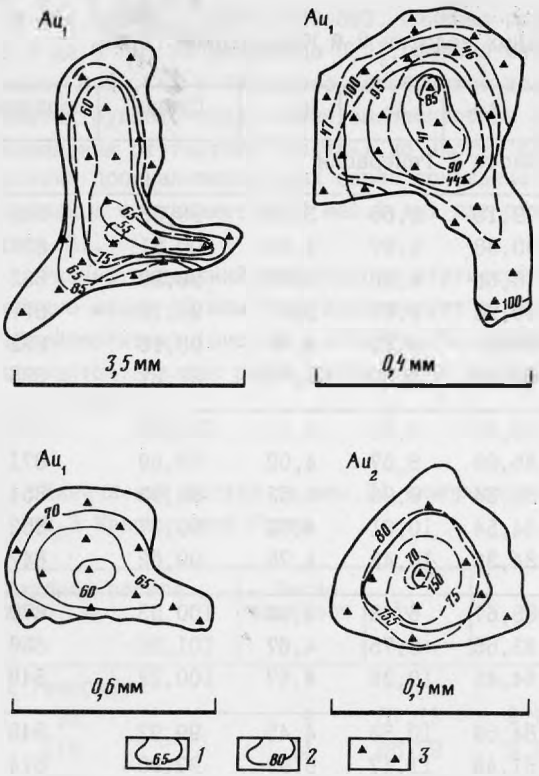
Характеристика золотин	Зона	Au	Ag	Hg	Сумма	Пробность
Ртутистое золото I генерации						
Крупная уплощенная	Ядро	89,I5	5,65	3,73	98,53	905
	↓	90,38	5,97	4,46	I00,8I	897
		86,65	6,92	4,72	98,29	882
		86,92	8,27	3,97	99,I6	877
		85,62	8,20	4,34	98,I6	872
	край	84,I5	8,37	4,75	97,27	865
Крупная удлиненная	Ядро	89,52	8,30	4,II	I0I,93	878
	↓	85,90	8,67	4,02	98,59	87I
		85,34	9,96	4,63	99,93	854
		84,54	I0,0I	4,7I	99,27	852
	край	84,36	I0,48	4,78	99,62	847
Небольшая округлой формы	Ядро	88,67	6,48	4,62	I00,53	870
	↓	83,65	9,75	4,67	I0I,35	856
	край	84,45	I0,35	4,67	I00,23	848
Мелкая	Ядро	84,59	I0,88	4,45	99,92	845
	Край	8I,48	II,47	6,95	99,90	8I4
Ртутистое золото II генерации						
Небольшая	Ядро	74,67	20,0I	6,23	I00,9I	740
	Край	70,I4	24,26	7,48	I0I,88	688

Примечание. Микрозонд "Camebax"; анал. Э.М.Спиридонов.

бододекаэдры, их комбинации, более сложные формы. Пробность золота колеблется от 843 до 688, обычно 720-800. Минерал содержит (в мас.%): до 24 Ag; до I4,8 Hg; от следов до 0,39, в среднем 0,I2 Fe;0,08-0,II Cu; от следов до 0,26,в среднем 0,05 Sb. Более серебристое золото II генерации развито на верхних горизонтах 2-й Кварцитовой Горки. Выделения ртутистого золота-2 обычно зональны по составу: внешние зоны обогащены Ag (разница составляет до 7 мас.% Ag) или обогащены Ag и Hg (разница достигает 4,5 мас.% Hg); иногда сложнозональные (рис. 8).

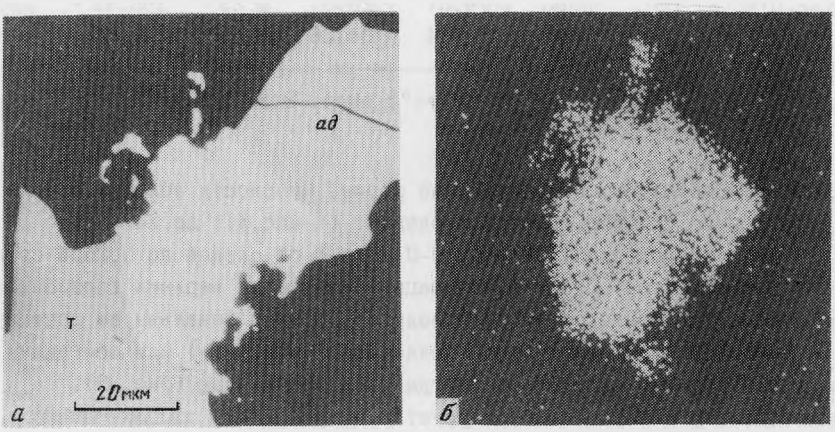
Ртутистое золото III генерации ассоциирует с миаргиритом, **халькостибитом,** антимонитом (рис. 7,8), кубанитом; с антимонитом нередко образует субграфические срастания; золото-2 нередко обрастается золотом-3. Пробность золота-3 составляет 642-629 - это ртутистый электрум. Минерал содержит до 27 мас.% Ag, I4 Hg, 0,I0 Cu, 0,07 мас.% Fe, сурьма не обнаружена.

Итак, в ходе рудоотложения во 2-й Кварцитовой Горке самородное золото систематически обогащалось Ag (как и в I-м рудном теле) и Hg (тогда как в золоте I-го рудного тела происходило обеднение Hg). Рост содержаний Hg в самородном золоте, очевидно, был обусловлен существенным понижением фугитивности серы и окислитель-



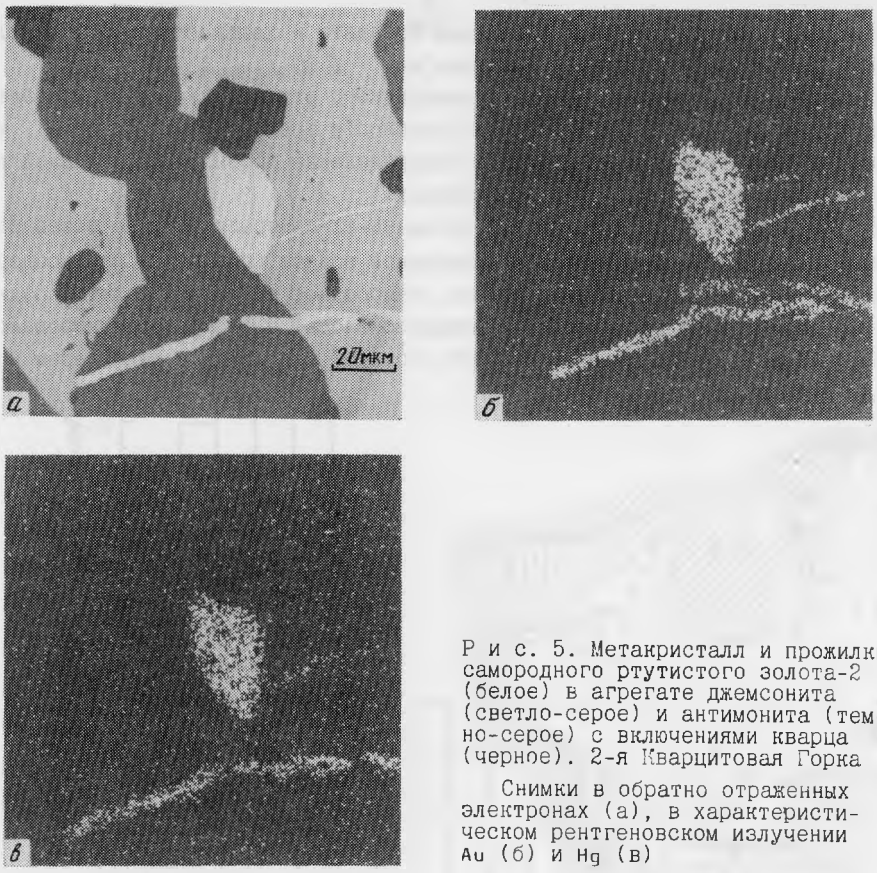
Р и с. 3. Состав зональных выделений ртутистого золота I генерации (Au_1) и II генерации (Au_2) 2-й Кварцитовой Горки

I - изолинии концентраций серебра, о/оо; 2 - изолинии концентраций ртути, о/оо; 3 - места микрозондовых анализов



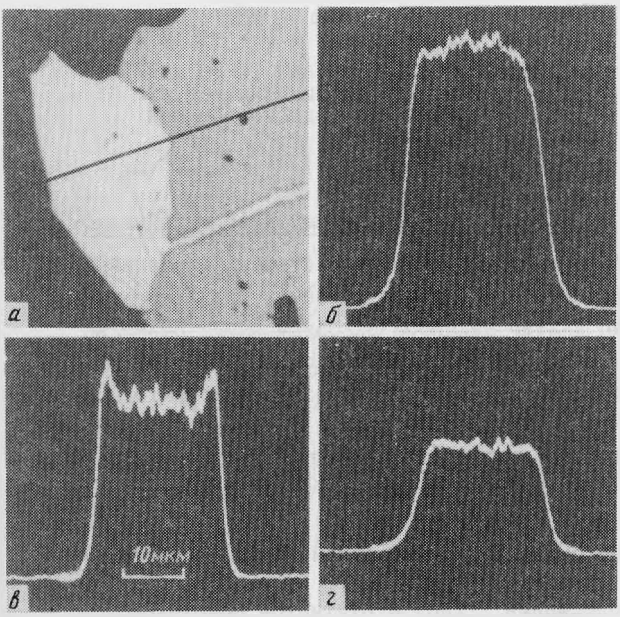
Р и с. 4. Срастание ртутистого золота-2, андорита (ад), Ag -тетраэдрита (т). 2-я Кварцитовая Горка

Снимки в обратно отраженных электронах (а), в характеристическом рентгеновском излучении Au (б)

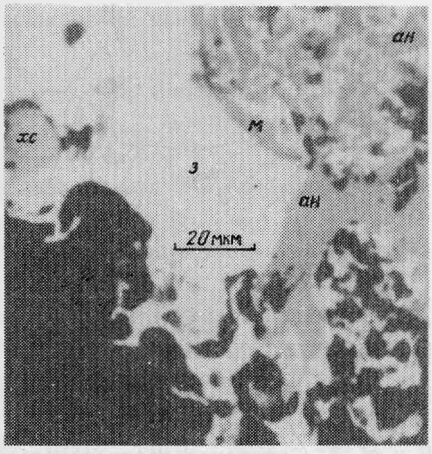


Р и с. 5. Метакристалл и прожилки самородного ртутистого золота-2 (белое) в агрегате джемсонита (светло-серое) и антимонита (темно-серое) с включениями кварца (черное). 2-я Кварцитовая Горка

Снимки в обратно отраженных электронах (а), в характеристическом рентгеновском излучении Au (б) и Hg (в)



Р и с. 6. Деталь предыдущего снимка: в отраженных электронах (а), показана линия профиля; концентрационные профили Au(б), Ag (в), Hg(г)

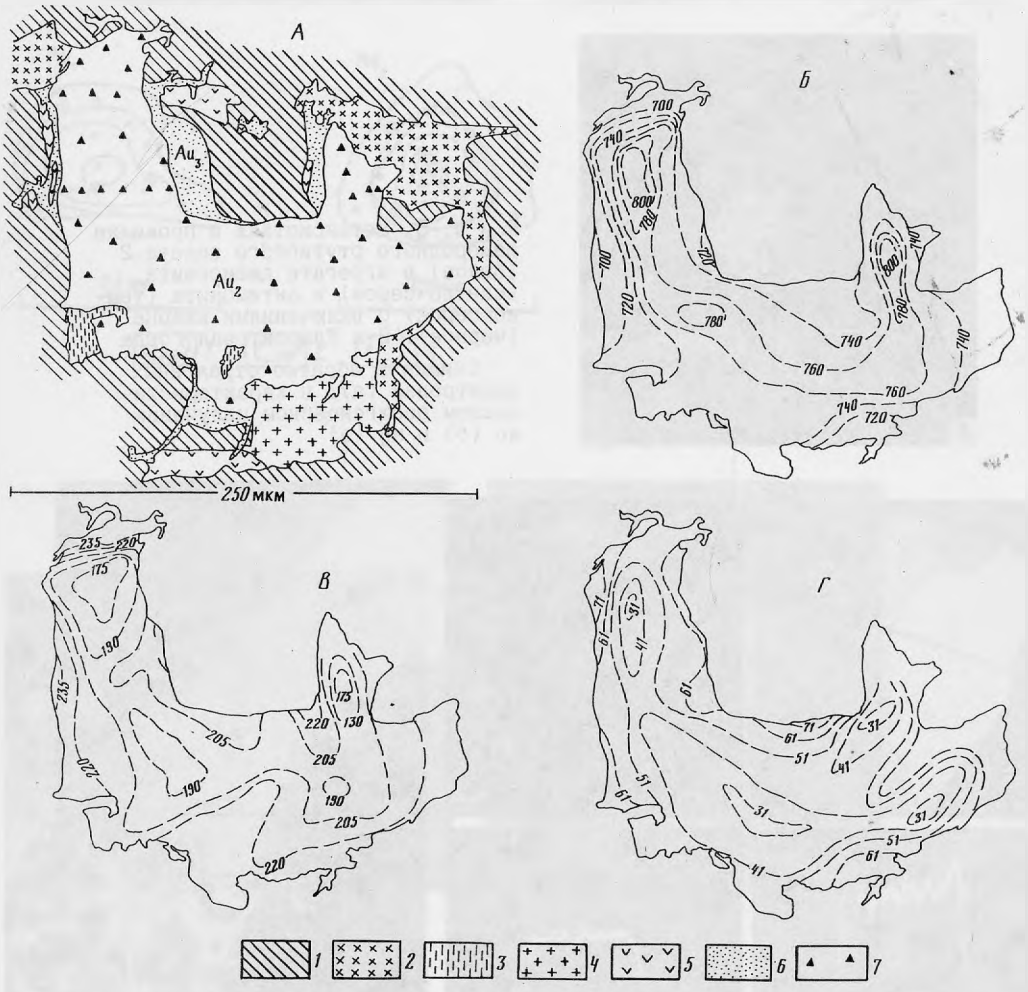


Р и с. 7. Субграфические срастания ртутистого золота-3 (з), антимонита (ан), халькостибита (хс), миаргирита (м). 2-я Кварцитовая Горка

ного потенциала, что фиксируется развитием кубанита и халькостибита, а в более ранних ассоциациях - блеклых руд, лишенных Cu^{2+} [10].

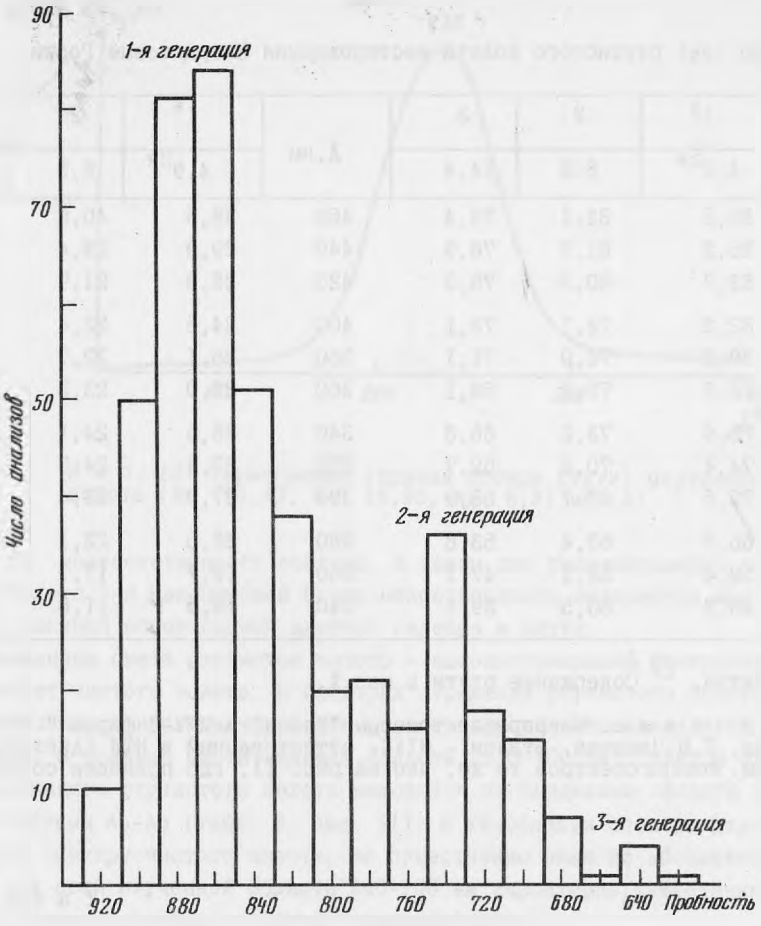
В целом для месторождения пробность самородного ртутистого золота колеблется в широких пределах. Кривая распределения пробности трехвершинная (рис. 9), что соответствует трем генерациям минерала. Распределение пробности для каждой генерации золота близко к нормальному (гауссовому).

В участках наложения позднепермской Ba-As-Sb-Tl-минерализации на вышеописанную золоторудную в первой появляются самородное золото (без Hg) и ртутьсодержащие теннантит и Sb-акташит. Следовательно, самородное ртутистое золото позднеордовикской минерализации растворялось (мобилизовалось) и диспропорционировало. Юное золото (без Hg) с пробностью 910-908 образует срастания с реальгаром и нарастает на реальгар.



Р и с. 8. Срастание сложнозонального ртутистого золота-2 (Au_2) с ртутистым золотом-3 (Au_3) и сульфидами. Рудный столб 2-й Кварцитовой Горки, глубина 215 м

А - зарисовка; Б-Г - изолинии содержаний (‰) в ртутистом золоте-2: Б - золота, В - серебра, Г - ртути. 1 - кварц; 2 - антимонит; 3 - халькостибит; 4 - Ag-тетраэдрит; 5 - миаргирит; 6 - ртутистое золото-3; 7 - места микрозондового анализа



Р и с. 9. Гистограмма пробности самородного ртутистого золота Кварцитовых Горок (по результатам анализов на электронном микрозонде, n = 453)

Физические свойства ртутистого золота

Физические свойства минерала изучены на образцах из руд 2-й Кварцитовой Горки, относительно крупного размера и незональных.

На термограмме минерала проявлен четкий пик потерь веса - улетучивания ртути - с максимумом около 238°С (рис. 10).

Известно, что микротвердость самородного золота почти линейно увеличивается от 50 до 90 кг/мм^2 с ростом содержаний Ag от 0 до 30 мас.%. Микротвердость самородного ртутистого золота Кварцитовых Горок (ПМТ-3, тарирован по NaCl, P = 5-10 г; анал. Н.Ф.Соколова):

VHN	49 (4)	58(5)	57(4)	56(6)	59(5)	57(5)	55(5)	55(4)	53(4)
Hg, мас.%	2,1	3,3	4,0	4,9	5,2	7,4	8,5	13,1	14,4
Ag, мас.%	7,2	16,8	9,2	10,5	22,1	15,5	15,4	23,8	17,4

В скобках - число замеров. Отчетливо заметно, что рост содержаний Hg обусловил пониженные значения твердости по микровдавливанию по сравнению с минералами сис-

Таблица 8

Отражение ($R_{\%}$) ртутистого золота месторождения Кварцитовые Горки

λ, нм	I*	2	3	λ, нм	I*	2	3
	4,9 2х*	8,5	I4,4		4,9 2х*	8,5	I4,4
700	86,6	83,I	78,4	460	38,5	40,8	3I,0
680	85,2	8I,7	76,9	440	29,9	29,4	2I,9
660	83,7	80,3	75,0	420	25,8	2I,9	I7,I
640	82,2	78,7	73,I	400	24,6	22,4	I5,0
620	80,5	76,9	7I,I	380	25,I	22,7	I4,2
600	78,8	75,I	68,I	360	26,0	23,3	I4,3
580	76,9	73,2	65,8	340	26,5	24,I	I4,5
560	74,4	70,8	62,7	320	27,4	24,3	I4,2
540	70,5	67,7	58,9	300	27,3	23,4	I3,2
520	65,7	63,4	53,8	280	26,5	22,I	II,4
500	58,4	58,I	47,I	260	I9,7	I7,7	8,8
480	48,3	50,5	39,3	240	I6,6	II,8	5,9

* Номер спектра. 2х* Содержание ртути в мас.%.

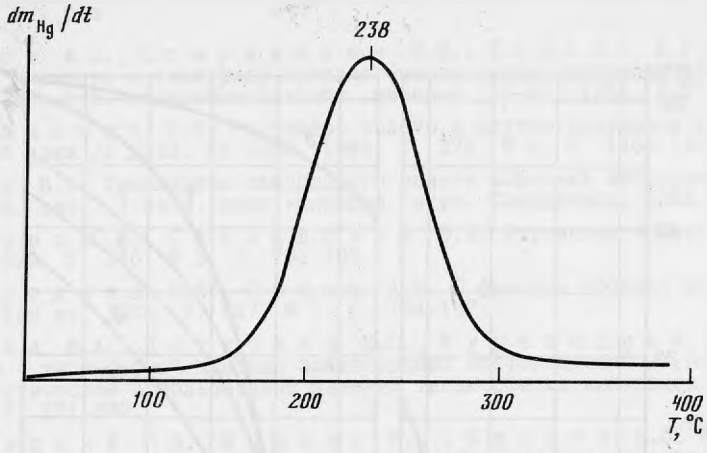
Примечание. Микрорефлектометры "Блеск" и MPV-2 фирмы "Leitz", анал. Д.К.Щербачев, Т.Н.Чвилева, эталон - WTiC, аттестованный в НФЛ (Англия), диаметр зонда I0 мкм. Номера спектров те же, что на рис. II, где приведен состав минералов.

Таблица 9

Рентгенограммы ртутистого золота Кварцитовых Горок

hkl	Состав, мас.%					
	Au 83,90; Ag I0,45; Hg 4,89			Au 68,59; Ag I7,37; Hg I4,66		
	I	$d_{изм}$, Å	$d_{расч}$, Å	I	$d_{изм}$, Å	$d_{расч}$, Å
III	I0	2,36	2,356	I0	2,38	2,376
200	6	2,035	2,04I	5,5	2,059	2,058
220	4,5	I,443	I,443	4	I,455	I,455
3II	8,5	I,230	I,23I	9	I,240	I,24I
222	3	I,I79	I,I78	4	I,I89	I,I88
a_o, Å	4,082			4,II6		

Примечание. Условия съемки: РКД-57,3 мм; 35 кВ; Fe-антикатод; образец - "резиновый шарик" d ~ 0,2 мм.



Р и с. I0. Термограмма (кривая потерь ртути) ртутистого золота (Au 76,43, Ag I6,95, Hg 6,3I мас.%)

темы Au-Ag соответствующего состава. В целом для разнообразного по составу ртутистого золота 2-й Кварцитовой Горки микротвердость отличается мало, что обусловлено взаимной компенсацией влияния серебра и ртути.

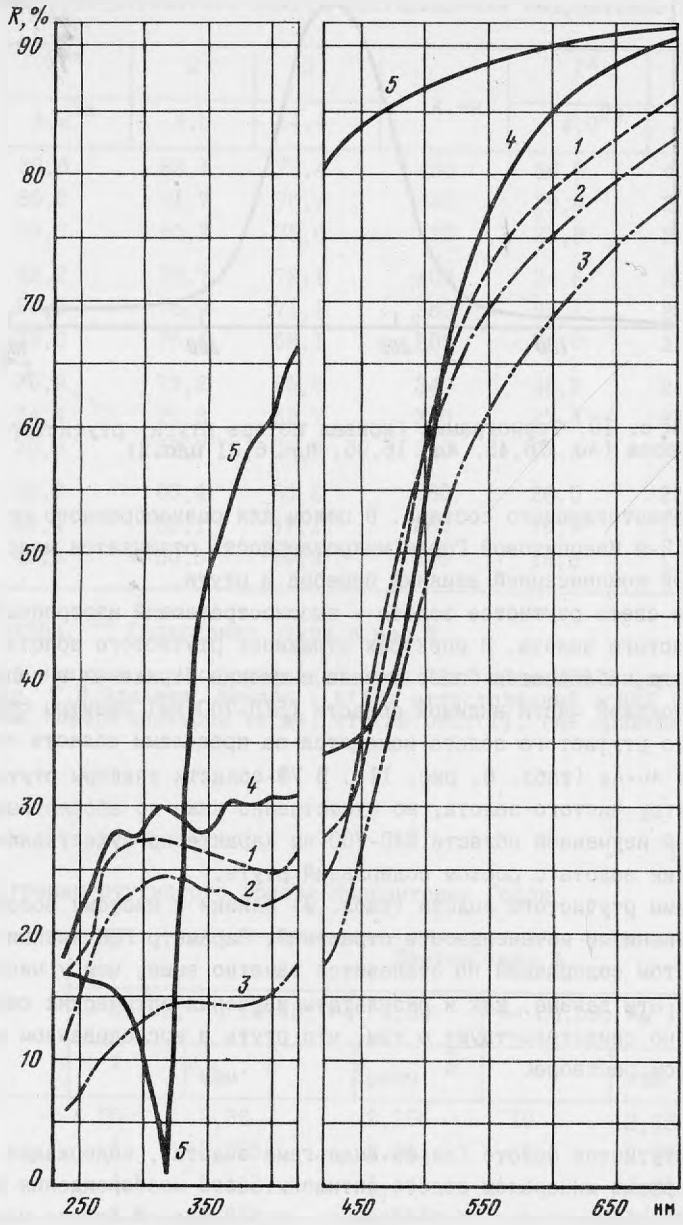
В отраженном свете ртутистое золото - высокоотражающий изотропный минерал, неотличимый от чистого золота. В спектрах отражения ртутистого золота в отличие от чистого золота наблюдается более резкое снижение отражения в направлении к УФ-области. В большей части видимой области (5I0-700 нм) спектры отражения серебросодержащего ртутистого золота находятся за пределами области спектров минералов системы Au-Ag (табл. 8, рис. II). В УФ-области спектры ртутистого золота подобны спектру чистого золота, но существенно ниже по абсолютным значениям. В целом для всей изученной области 240-700 нм характерно существенное снижение величин отражения золота с ростом содержаний ртути.

Рентгенограммы ртутистого золота (табл. 9) близки к чистому золоту, отличаясь небольшими изменениями интенсивности отражений. Параметр ГЦК ячейки у ртутистого золота с ростом содержаний Hg становится заметно выше, чем у чистого золота (a_o = 4,077 Å). Эти данные, как и результаты изучения оптических свойств и твердости, однозначно свидетельствуют о том, что ртуть в исследованном минерале находится в твердом растворе.

Заключение

Самородное ртутистое золото (альфа-амальгама золота), содержащее до I5% Hg, является типоморфным минералом золото-антимонитового месторождения Кварцитовые Горки, наименее глубинного из плутоногенных месторождений золото-кварцевой формации, залегающего среди черносланцевой толщи. В ходе рудоотложения состав ртутистого золота эволюционировал до ртутистого электрума. Ртуть интенсивно накапливалась в самородном золоте в участках, где рудообразование шло при низкой фугитивности серы и пониженном окислительном потенциале.

С ростом содержаний ртути в самородном золоте снижается его отражение и микротвердость и увеличивается параметр элементарной ячейки.



Р и с. II. Спектры отражения самородного ртутистого золота Кварцитовых Горок

I - ртутистое золото (Au 83,90, Ag I0,46, Hg 4,89 мас.%); 2 - ртутистое золото (Au 75,63, Ag I5,4I, Hg 8,49 мас.%); 3 - ртутистое золото (Au 68,59, Ag I7,37, Hg I4,36 мас.%); 4 - высокопробное золото (Au 98,55, Ag I,57 мас.%); 5 - серебро

Литература

I. Бадалов А.С., Спиридонов Э.М., Гейнке В.Р. Минералы - самородные элементы и теллуриды вулканогенного рудопроявления Кайрагач (УзССР) // Зап. Узб. отделения Всесоюз. минерал. о-ва. 1984. № 37. С. 64-67.

2. Вершковская О.В. Ртутистое золото в ртутно-сурьмяном месторождении Средней Азии // Докл. АН СССР. 1984. Т. 278, № 6. С. 1465-1469.

3. Мурзин В.В. Типохимизм самородного золота коренных месторождений Урала: Автореф. дис.... канд. геол.-минерал. наук. Свердловск, 1982. 17 с.

4. Назьмова Г.Н., Спиридонов Э.М. Ртутистое золото // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246, № 3. С. 702-705.

5. Новгородова М.И., Цепин А.И. О фазовом составе медистого золота // Там же. 1976. Т. 227, № 1. С. 184-187.

6. Озерова Н.А., Петкович М.С., Муравицкая Г.Н. Примесь ртути - типоморфный признак золоторудных месторождений // Научные основы и практическое использование явлений типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980. С. 221-230.

7. Покровский П.В., Мурзин В.В., Берзон Р.О. К минералогии самородного золота месторождения Золотая Гора // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1979. Ч. 108, вып. 3. С. 317-326.

8. Самусиков В.П., Сергиенко А.И. Некоторые особенности самородного золота Куларского района // Вопросы рудоносности Якутии. Якутск, 1974. С. 212-230.

9. Силаев В.И., Майорова Т.П. Типохимизм самородного золота европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1986. 15 с.

10. Спиридонов Э.М. Типоморфные особенности блеклых руд некоторых плутоногенных, вулканогенных, телетермальных месторождений золота // Геология руд. месторождений. 1987. Т. 29, № 6. С. 83-91.

11. Спиридонов Э.М. Черные сланцы в геосинклинальных толщах ранних каледонид Северного Казахстана : геохимия, минералогия, роль в эндогенном рудообразовании // Геохимия, минералогия, литология черных сланцев. Сыктывкар, 1987. С. 80-81.

12. Спиридонов Э.М., Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности и условия образования плутоногенных золото-теллуридных концентраций в каледонидах Северного Казахстана // Геология руд. месторождений. 1989. Т. 31, № 6. С. 26-39.

13. Спиридонов Э.М., Соколова Н.Ф., Гапеев А.К. Новый минерал - аргентотеннантит // Докл. АН СССР. 1986. Т. 290, № 1. С. 206-211.

14. Спиридонов Э.М., Филипьев М.П., Соколова Н.Ф. Геологическое строение и возраст месторождения Кварцитовые Горки в Северном Казахстане // Бюл. МОИП. Сер. геол. 1973. Т. 43, вып. 5. С. 159-160.

15. Basu K. et al. Rare minerals from Rajpura-Dariba, Rajasthan, India. II: Intermetallic compaund $Ag_{74,2}Au_{16,4}Hg_{9,4}$ // Neues Jb.Miner. Abh. 1981. Vol. 141, N 2. P. 217-223.

16. Harris D.S. The minerals in the main Hemlo gold deposit, Ontario // Pap. Geol. Surv. Canada. 1986. N 86-1A/A. P. 49-54.

17. Nysten P. Gold in the volcanogenic mercury-rich sulfide deposit Långsele. Skellefte ore district, northern Sweden // Miner. deposita. 1986. Vol. 21, N 2. P. 116-120.

18. Paar W. Telluride der Gold-nasturan - paragenese von Mittenberg, Salzburg // Neues Jb.Miner. Monatsh. 1976. N 5. S. 193-202.

19. Shikazono N., Shimizu M. Mercurian gold from the Tsugu gold-antimony vein deposit in Japan // Canad. Miner. 1988. Vol. 26, N 2. P. 423-428.

20. Wiolenfalk L. Mercury as an indicator of stratigraphy and metamorphism in the Skellefte ore district // Econ. Geol. 1979. Vol. 74, N 5. P. 1307-1314.

21. Wittkopp R.W. Mercury-bearing metalic gold, Alleghny district Sierra County California // Calif. Geol. 1979. Vol. 32, N 1. P. 20-21.

УДК 549.334.7

Э.М.Спиридонов

НАГИАГИТ $AuPb_5Te_{4-x}Sb_xS_6$, x = 0-2 (УТОЧНЕННЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ)

Нагиагит описан как серая листоватая золотая руда в 1772 г. [5]; Вернер дал минералу название nagiakererz (Werhner, 1789 г.), которое Хайдингер изменил до нагиагита (Haidinger, 1845 г.). Нагиагит - типоморфный минерал вулканогенных золото-теллуридных месторождений: Сэкэрымб (Нагиаг) [3,14,19,23,29,30, 36 и др.], Бая-де-Арьеш (Оффенбанья) [3,5,14,25 и др.], Крипл-Крик [25,26, 34,35], Калаверас [3,25], Тавуа [21], Калгурли [4,5,14,21,28,31 и др.], Зод и др. В некоторых месторождениях нагиагит является одним из ведущих минералов-носителей золота. Однако состав минерала однозначно не определен, чему ранее (в "домикрозондовый" период) препятствовало постоянное наличие микровростков теллуридов (алтаит, сильванит и др.), сульфидов (бурнонит, тетраэдрит и др.), самородного теллура в нагиагите.

Для нагиагита предлагались многочисленные варианты формулы:

№ п/п	Формула	Год	Автор	Литература
1	$AuPb_9Te_3SbS_{12}$	1832	Berthier	По [17]
2	$Au_2Pb_{11}Te_{11}S_{13}$	1853	Wöhler et al.	По [17]
3	$(Pb,Au)(S,Te,Sb)_2$	1860	C.F.Rammelsberg	"
		1920	P.Niggli	"
		1924	A.K.Boldirew	"
		1936		[7]
		1955	H.Schneiderhöhn	[26]
4	$(Pb,Au)_2(S,Te,Sb)_3$	1860	C.F.Rammelsberg	По [17]
		1920	E.Cahen et al.	[18]
5	$Au_2Pb_{14}Te_7Sb_3S_{17}$	1885	L.Sipöcz	[29]
		1931	H.Schneiderhöhn et al.	[27]
		1940	Ф.В.Чухров	[11]
6	$AuPb_6Te_6S_8$	1897	Příwoznik	По [17]
7	$Au_2Pb_{10}Te_6Sb_2S_{15}$	1897	E.Schröder et al.	[23]
		1916	A.J.Moses	[22]
		1921	P.Groth	По [17]
		1926	F.Slavik	[30]
8	$Au_2Pb_{14}Te_7Sb_3S_{16}$	1926	F.Slavik	[30]
9	$(Au,Ag)_4Pb_{17}Te_{10}Sb_4S_{18}$			
10	$AuPb_6(S,Te)_{14}$	1935	B.Gosner	[20]
11	$AuPb_6(S,Te,Sb)_{9-11}$			
12	$AuTe_2 \cdot 6Pb(S,Te)$	1935	B.Gosner	[20]
		1941		[12]
		1957	H.Strunz	[33]
13	$AuPb_7(Te,Sb)_5S_9$	1936	D.Guisca	[19]
14	$AuPb_5(Te,Sb)_4S_{5-8}$	1944	H.Berman et al.	[25]
		1956	А.Г.Бетехтин	[1]
		1962	П.Рамдор	[14]
		1971	И.Костов	[6]
		1982	G.Strübel	[32]

Окончание таблицы

№ п/п	Формула	Год	Автор	Литература
15	$Au(Pb_{6,35}Sb_{1,45}Fe_{0,20})_8$	1946	L.G.Berry	[16]
	$(S_{7,75}Te_{3,25})_{11}$	1949	R.M.Thompson	[35]
	$Au(Pb,Sb,Fe)_8(S,Te)_{11}$	1984		[24]
16	$AuPb_5Te_3SbS_6$	1966	А.С.Поваренных	[13]
		1975	Е.К.Лазаренко и др.	[8]
		1982	А.В.Дружинин и др.	[4]
17	$AuPb_7(Te,Sb)_5S_6$	1976	Г.Б.Бокий и др.	[2]
	$AuPb_7Te_3Sb_2S_6$	1981		[9]

Разнообразие удивительное.

Формулы 3, 4, I0-I2 и I5 неприемлемы, поскольку изоморфизм Au-Pb и соответственно Te-S весьма ограниченный. Первый рациональный вариант формулы нагиагита - I3 - дан Д.Джюкэ [I9]: в одной позиции объединены Te и Sb, а Au, Pb и S от них обособлены. Уточненный вариант формулы Джюкэ, предложенный Г.Берманом [25], - I4 - наиболее популярен и приведен в большинстве учебников и справочных пособий. Дальнейшее уточнение той же формулы предложено А.С.Поваренных [I3] - I6.

В табл. I даны составы нагиагита по литературным данным; железо и соответствующее составу пирита количество серы вычтены, поскольку микрозондовые анализы показали лишь следовые содержания Fe (табл. 2-7, [34]). Серия химических анализов нагиагита месторождения Сэкэрымб в табл. I расположена в порядке снижения содержаний Sb и роста Te; видно, что сумма Sb + Te практически постоянна. Разброс аналитических данных довольно велик, что обусловлено и наличием микровростков других минералов, и, вероятно, аналитическими погрешностями, особенно заметными для серы. Тем не менее для большей части анализов, особенно для средних составов минерала, соотношения компонентов Au : Pb : (Te+Sb) : S $\simeq$ 1:5:4:6. Эти соотношения отвечают варианту формулы А.С.Поваренных. В соответствии с этим пересчет химических анализов проведен на I6 атомов.

Соотношение Te :Sb обычно колеблется от 3 до 2. Кроме того, известен анализ нагиагита, обогащенного Te и не содержащего Sb,-30 (в мас.%): Au - 8,11; Pb - 51,18; Te - 29,88; Sb - нет; S - I0,83; сумма - I00,00; формула $Au_{0,77}Pb_{4,59}Te_{4,36}S_{6,28}$. Состав этого образца нагиагита довольно близок к теоретическому для $AuPb_5Te_4S_6$: Au - I0,18 мас.%, Pb - 53,51, Te - 26,37, S - 9,94 мас.%

Ниже изложены результаты изучения состава нагиагита месторождений Сэкэрымб (образцы из коллекции Горного музея), Бая-де-Арьеш (колл. Горного музея), Калгурли (колл. В.И.Степанова), Манка (колл. М.М.Старовой), Зод (колл.автора). В изученных образцах из Сэкэрымба нагиагит слагает таблитчато-пластинчатые выделения размером до I2x4x2 мм и срастания с алтаитом, сильванитом, бурнонитом; в образцах из Манки - срастания с тетраэдритом; в образцах из Бая-де-Арьеш - срастания с алтаитом; в образцах из Калгурли и Зода представлены мономинеральные выделения нагиагита.

Химический состав нагиагита определен с помощью электронного микрозонда Camebax; условия съемки: 25 кВ, I5 нА; эталоны - химически анализированные сильванит (для Au, Ag,Te),алтаит (Pb, Te), гладит (Bi, S), галенит (S), пирит (Fe),

Таблица I

Химический состав (в мас.%) нагиагита по литературным данным (за вычетом пирита и нерастворимого остатка)

Компоненты	Сэкэрымб									Калгурли	Крипл-Крик	Средний состав для трех месторождений (9-II)
	I[x] [36]	2 [I9]	3 [I6]	4 [34]	5 [29]	6 [30]	7 [25]	8 [23]	среднее из I-8	I0 [28,3I]	II [34]	
Au	7,6I	7,6I	7,94	7,6	7,5I	7,4I	8,43	9,52	7,95	9,25	9,0	8,73
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	0,I7	0,24
Pb	54,50	56,4I	56,00	57,6	56,8I	57,I6	55,44	53,66	55,95	54,06	58,8	56,27
Te	I7,80	I6,39	I7,43	I6,4	I7,72	I7,87	I8,92	I9,25	I7,72	I8,I7	I5,I	I7,00
Sb	8,62	8,I6	7,57	7,4	7,39	6,99	6,6I	6,05	7,35	7,24	7,8	7,46
S	8,03	II,57	I0,20	I0,0	I0,29	9,65	9,0I	II,90	I0,08	9,30	I0,I	9,83
Сумма	96,56	I00,I4	99,I4	99,0	99,75	99,44	98,4I	I00,38	99,05	98,58	I0I,0	99,53
Формульные единицы в расчете на I6 атомов												
Au	0,8I	0,7I	0,78	0,76	0,73	0,74	0,86	0,88	0,78	0,93	0,88	0,87
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,I0	0,03	0,04
Pb	5,52	5,02	5,23	5,44	5,26	5,44	5,39	4,72	5,24	5,I9	5,48	5,30
Te	2,93	2,37	2,64	2,5I	2,67	2,76	2,99	2,75	2,70	2,83	2,28	2,60
Sb	I,49	I,24	I,20	I,I9	I,I7	I,I3	I,09	0,90	I,I7	I,I8	I,24	I,20
Сумма	4,42	3,6I	3,84	3,70	3,84	3,89	4,08	3,65	3,87	4,0I	3,52	3,80
S	5,26	6,66	6,I5	6,I0	6,I7	5,93	5,67	6,75	6,I0	5,77	6,08	5,99

[x] Здесь и далее - номер анализа.

Примечание. Ан. 2 и 10 – среднее из двух химических анализов.

Таблица 2

Вариации химического состава (в мас.%) нагиагита в пределах одного штуфа. Месторождение Сэкэрымб, обр. I0I/2 (Горный музей), срастание с алтаитом

Компоненты	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Au	II,26	II,28	I0,6I	II,49	II,59	I0,79	II,60	I0,23	I0,I3
Ag	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-
Pb	55,37	53,77	53,43	54,I0	54,8I	54,34	54,52	55,0I	55,45
Fe	0,07	0,06	-	-	-	0,08	-	0,08	-
Te	I7,09	I7,28	I6,8I	I8,46	I7,84	I7,52	I5,0I	I8,8I	I8,58
Sb	7,98	8,28	8,33	8,39	8,22	8,06	II,67	8,50	8,25
S	I0,35	I0,29	I0,4I	I0,49	9,85	9,8I	I0,23	I0,27	9,95
Сумма	I02,I2	I00,96	99,59	I02,93	I02,3I	I00,54	I03,03	I02,90	I02,36
	Формульные единицы в расчете на I6 атомов								
Au	I,08	I,09	I,03	I,08	I,I2	I,06	I,I0	0,97	0,98
Pb	5,04	4,93	4,93	4,86	5,05	5,07	4,93	4,96	5,08
Fe	0,02	0,02	-	-	-	0,03	-	0,03	-
Te	2,53	2,57	2,52	2,69	2,67	2,65	2,20	2,75	2,76
Sb	I,24	I,29	I,3I	I,28	I,29	I,28	I,80	I,3I	I,29
Сумма	3,77	3,86	3,83	3,97	3,96	3,93	4,00	4,06	4,05
S	6,09	6,I0	6,2I	6,09	5,87	5,9I	5,97	5,98	5,89

Примечание. Hg, Pd, Sn, Cu, Se, Ge, In не обнаружены. Содержания от следов (чаще) до Cd 0,07; Zn 0,04; Bi 0,2I; Pt 0,05 мас.%.

Таблица 3

Вариации химического состава (в мас.%) нагиагита в пределах одного штуфа. Месторождение Бая-де-Арьеш, обр. 83м (Горный музей), срастание с алтаитом

Компоненты	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Au	I0,80	I0,38	I0,6I	I0,42	I0,30	I0,7I	I0,3I	II,I2	II,09	II,03
Ag	-	-	-	0,02	Сл.	0,03	-	0,0I	-	0,0I
Pb	54,56	54,08	55,I7	52,64	53,80	54,84	53,42	52,6I	54,I3	54,55
Cd	0,I4	-	-	-	0,II	-	-	-	0,I2	0,I4
Zn	0,04	-	-	-	0,08	-	-	-	Сл.	0,00
Mn	0,04	-	-	-	0,0I	-	-	-	0,24	0,02
Fe	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	Сл.	0,06	0,07	0,03	0,04
Te	I8,93	I8,07	I8,54	I9,36	I9,27	I9,76	I8,95	I9,26	I8,I2	I8,53
Sb	8,I5	7,84	7,76	8,29	7,73	7,43	7,33	8,03	7,86	7,83
As	0,I6	0,I0	0,08	0,I6	0,I7	0,I4	0,I6	0,I4	0,I7	0,I6
S	I0,I7	9,92	I0,I2	9,76	9,58	I0,09	9,72	9,78	I0,23	I0,II
Se	0,05	0,03	0,07	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,05	0,05
Сумма	I03,06	I00,45	I02,39	I00,75	I0I,I7	I03,05	99,98	I0I,04	I02,04	I02,47

Таблица 3 (окончание)

Компоненты	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
	Формульные единицы в расчете на I6 атомов									
Au	I,02	I,0I	I,02	I,02	I,0I	I,02	I,0I	I,09	I,06	I,06
Ag	-		-	-	-	0,0I	-	-	-	-
Pb	4,92	5,02	5,03	4,92	5,00	4,97	4,97	4,88	4,9I	4,95
Cd	0,02	-	-	-	0,02	-	-	-	0,02	0,02
Zn	0,0I	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Mn	0,0I	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,0I
Fe	0,0I	0,0I	0,0I	0,0I	0,02	-	0,02	0,02	0,0I	0,0I
Сумма	4,97	5,03	5,04	4,93	5,06	4,97	4,99	4,90	5,02	4,99
Te	2,77	2,73	2,74	2,9I	2,9I	2,90	2,86	2,90	2,67	2,73
Sb	I,25	I,24	I,20	I,30	I,22	I,I4	I,24	I,2I	I,2I	I,23
As	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Сумма	4,06	3,99	3,96	4,25	4,I7	4,08	4,I4	4,I5	3,92	4,00
S	5,94	5,96	5,96	5,83	5,75	5,9I	5,84	5,87	5,99	5,94
Se	0,0I	0,0I	0,02	0,02	0,0I	0,0I	0,0I	0,0I	0,0I	0,0I

Примечание. Cu, Sn, Mo, Ge, In не обнаружены; As определено количественным спектральным анализом.

Таблица 4

Химический состав (в мас.%) нагиагита в срастаниях с алтаитом, бурнонитом, сильванитом

Компоненты	Сэкэрымб, обр. 82м				Бая-де-Арьеш, обр. 83м'		
	I	2	3	4	5	6	7
Au	I0,45	I0,73	I0,28	I0,2I	II,32	I0,40	II,29
Ag	-	-	-	-	-	-	-
Pb	54,06	53,58	55,47	55,I8	52,86	53,83	53,49
Cd	Сл.	0,03	0,03	0,05	0,07	-	0,06
Zn	-	-	-	-	0,03	-	-
Mn	-	-	-	-	0,04	-	0,05
Fe	0,0I	0,0I	-	0,0I	-	-	-
Te	I7,85	I7,99	I8,00	I8,3I	I9,43	I8,94	I8,72
Sb	8,29	8,20	8,I3	8,42	7,88	7,80	7,65
S	I0,7I	I0,96	I0,80	I0,72	I0,32	I0,79	I0,20
Se	-	-	-	-	0,II	-	-
Сумма	I0I,37	I0I,50	I02,7I	I02,90	I02,06	I0I,76	I0I,96

Таблица 4 (окончание)

Компоненты	Сэкэрымб, обр. 82м				Бая-де-Арьеш, обр. 83м'		
	I	2	3	4	5	6	7
	Формульные единицы в расчете на I6 атомов						
Au	0,99	I,0I	0,97	0,96	I,08	0,98	I,08
Pb	4,89	4,79	4,95	4,92	4,78	4,82	4,89
Cd	-	0,0I	0,0I	0,0I	0,0I	-	0,0I
Zn	-	-	-	-	0,0I	-	-
Mn	-	-	-	-	0,0I	-	0,02
Сумма	4,89	4,80	4,96	4,93	4,8I	4,82	4,92
Te	2,6I	2,6I	2,6I	2,65	2,85	2,76	2,78
Sb	I,27	I,25	I,24	I,28	I,2I	I,I9	I,I9
Сумма	3,88	3,86	3,85	3,93	4,06	3,95	3,97
S	6,24	6,33	6,23	6,I8	6,03	6,25	6,03
Se	-	-	-	-	0,03	-	-

Примечание. Cu, Hg, Bi не обнаружены.

Таблица 5

Химический состав (в мас.%) нагиагита месторождения Зод

Компоненты	Обр. А					Обр. Б	
	I	2	3	4	5	6	7
Au	I2,20	I0,68	8,78	I0,69	I2,03	II,I8	I0,76
Pb	54,5I	54,85	55,00	54,00	52,90	54,42	53,3I
Cd	0,09	0,05	0,04	-	-	-	-
Fe	0,03	0,07	0,07	-	-	-	-
Te	I6,05	I6,55	I7,92	I7,66	I5,86	I7,37	I7,94
Sb	6,96	7,88	8,02	7,57	8,89	8,28	8,03
Bi	0,37	0,4I	0,5I	0,40	0,37	-	-
As	0,I5	-	-	-	-	-	-
S	9,24	9,4I	9,60	9,56	9,73	9,62	9,88
Se	0,05	-	-	-	-	-	-
Сумма	99,65	99,90	99,94	99,88	99,78	I00,87	99,92
	Формульные единицы в расчете на I6 атомов						
Au	I,24	I,07	0,87	I,07	I,I9	I,I0	I,06
Pb	5,24	5,23	5,I8	5,II	4,99	5,I0	4,98
Cd	0,02	0,0I	0,0I	-	-	-	-
Fe	0,0I	0,02	0,02	-	-	-	-
Сумма	5,27	5,26	5,2I	5,II	4,99	5,I0	4,98

Таблица 5 (окончание)

Компоненты	Обр. А					Обр. Б	
	I	2	3	4	5	6	7
Te	2,5I	2,56	2,74	2,72	2,43	2,64	2,72
Sb	I,I4	I,28	I,29	I,22	I,43	I,32	I,28
Bi	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	-	-
As	0,04	-	-	-	-	-	
Сумма	3,73	3,88	4,08	3,98	3,90	3,96	4,00
S	5,75	5,79	5,84	5,85	5,93	5,83	5,96
Se	0,0I	-	-	-	-	-	-

Примечание. Ag, Hg, Cu, Sn, Zn не обнаружены. As - определено количественным спектральным анализом.

Таблица 6

Химический состав (в мас.%) нагиагита месторождения Калгурли

Компоненты	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Au	I0,65	I0,53	I0,66	I0,89	9,0I	I0,39	II,00	9,60	II,II	9,59
Pb	53,88	53,27	53,62	54,44	53,92	54,00	54,02	54,65	54,56	55,64
Fe	-	-	0,07	0,08	0,06	0,07	-	-	-	-
Te	I5,I4	I7,34	I5,65	I7,03	I9,29	I7,4I	I8,4I	I7,95	I7,46	I7,05
Sb	I0,35	I0,I6	I0,37	7,46	7,89	7,66	7,52	9,42	7,63	8,44
Bi	-	-	0,60	0,40	0,42	0,56	-	-	-	-
As	-	-	-	0,48	-	-	-	-	-	-
S	9,86	9,76	9,42	9,89	9,92	I0,20	I0,I3	9,90	I0,22	9,89
Сумма	99,88	I0I,06	I00,39	I00,67	I00,5I	I00,29	I0I,08	I0I,52	I00,98	I00,6I
Формульные единицы в расчете на I6 атомов										
Au	I,05	I,03	I,06	I,06	0,88	I,0I	I,06	0,93	I,07	0,94
Pb	5,04	4,93	5,06	5,06	4,99	5,00	4,97	5,03	5,03	5,I8
Fe	-	-	0,02	0,03	0,02	0,02	-	-	-	-
Te	2,30	2,60	2,40	2,57	2,90	2,6I	2,75	2,67	2,6I	2,58
Sb	I,65	I,60	I,66	I,I8	I,24	I,2I	I,I8	I,48	I,20	I,34
Bi	-	-	0,06	0,04	0,04	0,05	-	-	-	-
As	-	-	-	0,I2	-	-	-	-	-	-
Сумма	3,95	4,20	4,I2	3,9I	4,I8	3,87	3,93	4,I5	3,8I	3,92
S	5,96	5,84	5,74	5,94	5,93	6,I0	6,04	5,89	6,09	5,96

Примечание. Ag, Hg, Cu, Zn, Sn, Se не обнаружены. As - определено количественным спектральным анализом.

Таблица 7

Средний химический состав (в мас.%) нагиагита некоторых золото-теллуридных месторождений

Компоненты	Сэкэрымб		Бая-де-Арьеш			Манка	Зод		Калгурли (10)
	101/2* (10)	101/2' (9)	82м (4)	83м (10)	83м' (3)	(3)	А (5)	Б (2)	
Au	10,42	11,00	10,41	10,68	11,00	10,83	10,88	10,97	10,43
Ag	Сл.	Сл.	-	0,01	-	-	-	-	-
Tl	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	54,14	54,53	54,57	53,98	53,39	53,06	54,25	53,86	54,20
Hg	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-
Cd	0,09	-	0,03	0,13	0,06	0,07	0,06	-	-
Zn	0,02	-	-	0,03	0,02	0,02	-	-	-
Mn	0,06	-	-	0,08	0,04	0,01	-	-	-
Fe	0,03	0,07	0,01	0,04	-	0,05	0,06	-	0,07
Te	17,49	17,50	18,04	18,88	19,03	19,48	16,81	17,66	17,27
Sb	8,33	8,68	8,26	7,83	7,78	7,05	7,86	8,16	8,69
Bi	0,43	-	-	-	-	0,17	0,41	-	0,49
As	0,16	-	-	0,14	-	-	0,15	-	0,48
S	10,31	10,24	10,79	9,95	10,44	10,30	9,51	9,75	9,92
Se	0,05	-	-	0,05	0,06	-	0,05	-	-
Сумма	101,55	102,02	102,11	101,80	101,82	102,12	100,04	100,40	101,46
Формульные единицы в расчете на 16 атомов									
Au	1,01	1,04	0,98	1,03	1,04	1,04	1,08	1,08	1,00
Pb	4,97	4,97	4,89	4,94	4,83	4,84	5,13	5,04	4,99
Hg	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-
Cd	0,02	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	-	-
Zn	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01	-	-	-
Mn	0,02	-	-	0,03	0,01	-	-	-	-
Fe	0,01	0,02	-	0,01	-	0,02	0,02	-	0,02
Сумма	5,03	4,99	4,90	5,01	4,86	4,89	5,16	5,04	5,01
Te	2,60	2,59	2,62	2,81	2,79	2,89	2,58	2,68	2,58
Sb	1,24	1,35	1,26	1,22	1,20	1,09	1,27	1,30	1,36
Bi	0,04	-	-	-	-	0,02	0,04	-	0,04
As	0,04	-	-	0,04	-	-	0,04	-	0,12
Сумма	3,92	3,94	3,88	4,07	3,99	4,00	3,93	3,98	4,10
S	6,02	6,03	6,24	5,88	6,10	6,07	5,82	5,90	5,89
Se	0,01	-	-	0,01	0,01	-	0,01	-	-

* Номер образца в коллекции Горного музея.

Примечание. Cu, Sn, Mo, Ge, In не обнаружены. Tl, As определены количественным спектральным анализом. В скобках - число анализов.

синтетические CdSe (Cd,Se), ZnSe (Zn), Mn (Mn); аналитик - автор; составы рассчитаны по программе CORRECS. Выделения нагиагита обычно однородны по составу, для каждого зерна (один анализ в табл. 2-7) проводились измерения не менее чем в 20 точках, время счета в точке - I0 с. Всего проанализировано 56 зерен нагиагита для 9 образцов.

С э к э р ы м б. Состав нагиагита по данным 23 микрозондовых анализов (см. табл. 2,4,7) довольно устойчив и близок к $AuPb_5(Te,Sb)_4S_6$ при соотношении Te : Sb ≃ 2.В редких случаях Te:Sb ≃ 1,2. Содержания примесей достигают (в мас.%): Bi - 0,4; Cd, Se и Mn - по 0,I; Zn - 0,04; Tl - 0,02; частота встречаемости примесей Se, As, Cd, Zn, Mn низкая. Содержания примесей по данным спектрального анализа (в г/т): As - 2000, Mn - 1000, Bi - 200, Tl - 150, Cu - 30, Mo-2.

Б а я - д е - А р ь е ш. Состав нагиагита по данным I3 анализов (см. табл. 3,4) довольно устойчив и близок к $AuPb_5(Te,Sb)_4S_6$ при Te : Sb ≃ 2,5, изредка Te : Sb ≃ 2. Нагиагит постоянно содержит примеси As (0,I-0,2 мас.%), Cd (0,06-0,I4 мас.%), Se (до 0,I мас.%), Mn (0,04-0,08 мас.%).

З о д. По составу нагиагит Зода близок к Сэкэрымбу, Te : Sb = 1,7-2,2. Минерал обогащен Bi (0,4-0,5 мас.%) (см. табл. 5).

К а л г у р л и. Состав нагиагита близок к $AuPb_5(Te,Sb)_4S_6$, отношение Te : Sb варьирует от 2,2 до I,5, минерал обогащен Bi (0,4-0,6 мас.%) и As (0,5 мас.%) (см.табл. 6).

М а н к а. Нагиагит этого месторождения высокотеллуристый Te : Sb ≃ 3,содержит примеси Hg (0,08 мас.%), состав близок к $AuPb_5(Te,Sb)_4S_6$ (см. табл. 7).

Т а б л и ц а 8

Химический состав (в мас.%) алтаита, сильванита, бурнонита, тетраэдрита, теллуровисмута из срастаний с нагиагитом

Компоненты	Алтаит		Сильванит			Бурнотит	Тетраэдрит	Теллуровисмутит
	I	2	I	I	I	I	3	3
Au	-	0,27	28,06	27,53	27,89	-	-	Сл.
Ag	0,07	0,I9	I0,96	II,09	II,42	0,06	0,43	0,09
Hg	-	-	0,II	0,I2	0,I3	0,I7	-	-
Pb	6I,23	6I,00	-	-	-	4I,69	-	Сл.
Cd	0,07	-	-	-	-	0,09	0,03	-
Zn	-	-	-	-	-	0,07	5,04	-
Mn	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	-	-	-	-	-	I,97	-
Cu	-	-	Сл.	-	-	I3,8I	38,60	Сл.
Te	36,92	36,78	6I,57	6I,83	62,06	-	-	45,58
Sb	0,32	0,3I	Сл.	-	-	24,62	25,24	0,77
As	-	-	-	-	-	-	2,59	-
Bi	0,37	-	0,24	0,22	0,34	-	-	52,I3
S	-	-	-	-	-	I9,79	25,46	Сл.
Se	0,02	-	0,68	0,78	0,59	-	-	I,I2
Сумма	99,02	98,55	I0I,62	I0I,57	I02,43	I00,30	99,36	99,69

П р и м е ч а н и е. Месторождения: I - Сэкэрымб, 2 - Бая-де-Арьеш, 3 - Манка.

Итак, состав всех изученных современными методами образцов нагиагита отвечает $AuPb_5(Te_{4-x}Sb_x)_{\Sigma 4}S_6$ (x = 0-2), для наших образцов (n = 56) - $Au_{1^{-0,13}}^{+0,24}Pb_{5^{-0,20}}^{+0,27}Te_{2,20-2,91}Sb_{1,80-1,09}S_{6^{-0,26}}^{+0,33}$, в 90% образцов вариации состава нагиагита - $Au_{1^{-0,07}}^{+0,10}Pb_{5^{-0,14}}^{+0,16}Te_{2,43-2,90}Sb_{1,60-1,18}S_{6^{-0,18}}^{+0,24}$. Таким образом, нагиагит является сульфотеллуридом - сульфостибиотеллуридом золота и свинца.

Для теллуристых минералов золота группы билибинскита-богдановита установлено наличие в одной структурной позиции Pb-Te-Sb [15], подобный же изоморфизм характерен для минералов Pt-Pd. Возможно, что и нагиагит (по аналогии с указанными минералами) представляет собой сульфостибиоплюмботеллурид золота: $Au[Pb_5(Te,Sb)_4]_{\Sigma 9}S_6$ или $Au[Pb,Te,Sb]_9S_6$.

Соотношение Te : Sb обычно составляет от 3 до 2. Теоретический состав нагиагита для Te : Sb = 3 и 2 соответственно (в мас.%): Au -10,21 и 10,22; Pb - 53,68 и 53,73; Te - 19,84 и 17,64; Sb - 6,31 и 8,42; S - 9,97 и 9,98. Содержания примесей в нагиагите достигают (в мас.%): Bi - 0,56; As - 0,48; Se - 0,11; Fe - 0,08; Mn - 0,24; Zn - 0,03; Cd - 0,14; Hg - 0,08; Ag - 0,03; Tl - 0,02.

Состав ассоциирующих с нагиагитом минералов приведен в табл. 8. В типичной для месторождения Сэкэрымб ассоциации нагиагит-сильванит-алтаит-бурнонит сильванит характеризуется преобладанием Au над Ag, наличием заметных примесей Se (до 0,8 мас.%), Bi (0,2-0,3 мас.%), Hg (0,1 мас.%), алтаит содержит заметные примеси Sb и Bi, бурнонит - примесь Hg. В типичной для Бая-де-Арьеш ассоциации нагиагит-алтаит последний стехиометричен по составу, выделяется наличием примеси Au (до 0,3 мас.%). Теллуровисмутит из срастаний с нагиагитом Манки отличается заметной примесью Se (1,1 мас.%), а тетраэдрит представлен цинкистой разновидностью, лишенной Te и Bi.

Итак, нагиагит является сульфостибиотеллуридом золота и свинца, возможно, сульфостибиоплюмботеллуридом золота $AuPb_5(Te,Sb)_4S_6$ (Sb = 0-2, обычно 1) или $Au[Pb,Te,Sb]_9S_6$.

Литература

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 508 с.
2. Бокий Г.Б., Кочанова Н.Н., Теппер Х.Н. и др. Тезаурус по минералам русско-немецкий. М.: Наука, 1976. Т. 1. 300 с.
3. Браунс Р. Царство минералов. СПб., 1906. 507 с.
4. Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В. Главнейшие типы рудных месторождений. М.: Недра, 1982. 383 с.
5. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М.: Наука, 1964. Т. 2. 830 с.
6. Костов И. Минералогия. М.: Мир, 1971. 584 с.
7. Курс минералогии / Под. ред. А.К.Болдырева. Л.;М.: ОНТИ, 1936. 1051 с.
8. Лазаренко Е.К., Винар О.К. Минералогический словарь украинско-русско-английский. Киев: Наук.думка, 1975. 773 с.
9. Минералогические таблицы. М.: Недра, 1981. 399 с.
10. Минералы. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. 617 с.
11. Минералы СССР. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1940. Т. 2. 747 с.
12. Минералогия Урала. Свердловск: УФАН СССР, 1941. Т. 1. 531 с.
13. Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев: Наук. думка, 1966. 547 с.
14. Рамдор П. Рудные минералы и их срастания. М.: Изд-во иностр.лит. 1962. 1132 с.

15. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Богдановит $Au_3(Cu,Fe)_3(Te,Pb)_2$ - новый минерал из группы интерметаллических соединений золота // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1979. № 1. С. 44-52.

16. Berry L.G. Nagyagite // Univ. Toronto Stud. Ser. Geol. 1946. N 50. P. 35-48.

17. Boldirew A.K. Die chemische Formeln des Nagyagite // Neues Jb. Miner., Geol. und Paläontol. 1924. N 7. S. 193-201.

18. Cahen E., Wootton W.O. The mineralogy of rare metals. L., 1920. 254 p.

19. Giuşcă D. Le chimisme de la nagyagite // Bull. Soc. Rom. Geol. 1937. N 3. P. 118-121.

20. Gosner B. Über Kristallform und molekulare Einheit von Nagyagit // Neues Jb. Miner., Geol. und Paläontol. A. 1935. N 11. S. 321-327.

21. Markham N.L. Synthetic and natural phases in the system Au-Ag-Te // Econ. Geol. 1960. Vol. 55. P. 1148-1178, 1460-1477.

22. Moses A.J., Parsons C.L. Elements of mineralogy, crystallography, and blowpipe analysis. N.Y., 1916.

23. Muthmann W., Schröder E. Über die Zusammensetzung einiger Tellurmineralien // Ztschr. Kristallogr. 1897. Bd. 29, H. 1/2. S. 140-145.

24. Nagyagite $Au(Pb,Sb,Fe)_8(Te,S)_{11}$ // Lapis. 1984. Vol. 9, N 9. P. 8-11.

25. Palache C., Berman H., Frondel C. The system of mineralogy of J.D. Dana and E.S.Dana. N.Y.; L., 1944. Vol. 1. 834 p.

26. Schneiderhöhn H. Erzlayerstätten kurzvorlesungen zur Einführung und Wiederholung. Jena, 1955. 495 S.

27. Schneiderhöhn H., Ramdor P. Lehrbuch der Erzmikroskopie. B., 1931. Bd. 2. 714 S.

28. Simpson E.S. Detailed mineralogy of Kalgoorlie and Boulder with special reference to the ore deposits // Bull. Geol. Surv. W. Austral. 1912. N 42. P. 97.

29. Sipöcz L. Über die chemische Zusammensetzung einiger seltener Minerale aus Ungarn // Ztschr. Kristallogr. 1885. Bd. 11, H. 3. S. 209-219.

30. Slavik F. Nagyagit // Handbuch der Mineralchemie / Hrsg. C. Doelter, H. Leitmeier. Dresden; L., 1926. Bd. 4, H. 1. S. 882-884.

31. Stillwell F.L. The occurence of telluride minerals at Kalgoorlie // Proc. Austral. Inst. Miner. Met. 1931. Vol. 84. P. 115-119.

32. Strübel G., Zimmer S.H. Lexicon der Mineralogie. Stuttgart, 1982. 494 S.

33. Strunz H. Mineralogische Tabellen. L., 1957. 524 S.

34. Stumpfl E.F. New electron probe and optical data on gold tellurides // Amer. Miner. 1970. Vol. 55, N 5/6. P. 808-814.

35. Thompson R.M. The tellurides and their occurence of Canada // Ibid. 1949. Vol 34, N 5/6. P. 342-382.

36. Tokody L. Proustit und xanthokonit von Nagyag // Neues. Jb. Miner., Geol. und Paläontol. A. 1930. N 3. S. 117-123.

УДК 549.334+553.252.2 (553.068.42)

Э.М.Спиридонов

О СОСТАВЕ И СТРУКТУРЕ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ БИЛИБИНСКИТА-БОГДАНОВИТА

В настоящее время интенсивно разрабатывается минералогия золота. Число минеральных видов золота достигло 28. В вулканогенных и телетермальных месторождениях золота недавно выявлены фишессерит, айтенбогардтит, люджинюйнит, пенжинит, крыддлеит, минерал $AuBi_5S_4$. Наибольшее количество новых минеральных фаз золота выявлено в зоне цементации золото-теллуридных и золото-колчеданных месторождений: билибинскит, богдановит, безсмертновит, серия близких к ним по составу минера-

лов; мутманнит, петровскаит; ряд неназванных теллуридов и сульфотеллуридов Au, Au-Ag, Au-Ag-Cu-Fe.

Минералы группы билибинскита - богдановита [7-10, 14] - гипергенные плюмботеллуриды и стибиоплюмботеллуриды с заметным содержанием или с преобладанием золота макроскопически и микроскопически чаще розовато-коричневые с бронзовым отливом, борнитоподобные, реже валлериитоподобные минералы, часть их похожа на медистое золото. Бо́льшая их часть по качественному оптическому впечатлению сходна с риккардитом и вейсситом, для них характерны пурпурные окраски, интенсивные цветовые эффекты двуотражения и анизотропии. Во многих золото-теллуридных месторождениях минералы группы билибинскита ранее были описаны как гипергенные риккардит и вейссит: Первомайское (Степнякское рудное поле Северного Казахстана) [1], Пионерское (Саяны) [6], Калгурли (Австралия) (Stillwell, 1953 г.; Markham, 1960 г.), Глава (Швеция) (Scherbina, 1941 г.). К настоящему времени минералы группы билибинскита установлены, кроме указанных, в следующих месторождениях: Агинское и Озерновское (Камчатка), Зод (Армения), Жана-Тюбе и Джеламбет (Северный Казахстан), Солнышко (Центральный Казахстан), Алмалы (Южный Казахстан), Кайрагач и Кочбулак (Узбекистан), Манка (Алтай) (данные автора), Эшли (Канада) [15]. Особо характерны данные минералы для зоны выветривания вулканогенных золото-теллуридных месторождений. В зоне цементации месторождений Агинское и Зод в отдельных участках в минералах группы билибинскита заключено до 10% массы золота руд.

Непосредственные наблюдения показали, что минералы группы билибинскита замещают креннерит, сильванит, калаверит, костовит, нагиагит; вероятно, в их образовании могло участвовать вещество и других разложенных теллуридов (алтаит, петцит, теллуриды и селенотеллуриды висмута) и сульфидов (халькопирит, голдфилдит и др.). Минералы группы билибинскита тесно ассоциируют с гипергенными акантитом, мутманнитом, гесситом, сульфотеллуридом Ag-Fe-Cu, теллуритами Cu-Pb, Cu-Fe, Cu-Fe-Pb, минералами группы медистого золота (кубическими AuCu, $AuCu_3$, Au_3Cu и их упорядоченными модификациями).

Минералы группы билибинскита-богдановита обычно слагают мелкие выделения или мелкозернистые срастания, нередко радиально-лучистые ("колломорфные") агрегаты. Размер моноблоков редко превышает 20 мкм. Это минералы эфемерные, поскольку в зоне окисления они весьма неустойчивы и легко замещаются агрегатами самородного золота, теллурита, хлораргирита, балакинита, раджита, чолоалита, тейнеита, грэмита, кхинита, плюмботеллурита, маккейита, родалкиларита и других теллуритов, оксителлуритов, теллуратов Cu, Fe, Pb. Замещение обычно начинается вдоль сети микротрещин, что фиксируется развитием "строчек" и "полосок" мельчайших выделений гипергенного золота (в ассоциации с TeO_2 и соединениями Te-O-Cu, Fe, Pb).

Считается, что данные о составе и структуре минералов группы билибинскита-богдановита противоречивы [4]. Рассмотрим данные, опубликованные и полученные за последнее время.

Богдановит

Данные о химическом составе минерала приведены в таблице. Опубликованные ранее данные отвечают Cu-богдановиту (обр. 6), Fe-богдановиту (обр. 8) и Fe-Cu-богдановиту (обр. 7) [8]: обобщенный состав отвечает формуле $Au_{4,4}Ag_{0,3}Cu_{2,05}Fe_{1,29}Te_{1,11}Se_{0,01}Pb_{0,86}$. Анализы новой серии, выполненные по другим образцам Агинского месторождения, отвечают Cu-богдановиту с более высокими содержаниями Te и несколько пониженными - Pb (обр. 9), состав его $Au_{4,58}Ag_{0,30}Cu_{3,21}Fe_{0,07}$

Химический состав (в мас.%) минералов группы билибинскита-богдановита из различных месторождений

Компонент	Агинское			Озерновское	Пионерское	Агинское			
	билибинскит				Sb-билибинскит	богдановит различного состава [8]			
	n=8(1) [7]	n=4*(2)	n=3*(3)	n=8*(4)	n=3(5) [10]	n=3(6)	n=4(7)	n=4(8)	n=6*(9)
Au	48,4	48,I	53,I	50,8	58,I	60,5	60,5	60,3	62,8
Ag	I,54	I,48	2,68	0,99	2,8I	2,79	I,88	2,I9	2,26
Cu	9,35	I0,02	6,57	9,29	4,53	I3,I7	9,62	4,63	I4,I8
Fe	0,I9	0,22	0,24	0,02	0,I7	0,85	5,I8	9,33	0,26
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Te	I9,20	2I,I7	22,67	22,53	22,27	9,92	9,94	9,99	I2,07
Pb	2I,59	I5,66	I2,33	I3,88	6,35	I2,I3	I2,50	I2,83	6,96
Bi	Сл.	0,2I	0,33	-	I,53	-	-	-	-
Sb	"	0,38	0,46	-	3,53	-	-	-	-
Se	0,34	0,68	0,74	Сл.	0,I3	0,09	-	0,07	Сл.
S	Сл.	-	-	-	0,I4	Сл.	-	-	-
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	I00,6	97,9	99,I	97,5	99,6	99,4	99,6	99,3	98,5

* Анализы новой серии, выполненные по иным образцам, чем в опубликованных ранее работах [7-I0] (микрозонд "Camebax", 25 кВ, I5 нА, анал. Э.М.Спиридонов).

2* Содержание кислорода, рассчитанное исходя из модели, что весь теллур связан в TeO_2.

Примечание. n - число анализов; в скобках - номер образца.

$Te_{1,36}Pb_{0,48}$. Атомное отношение (Au+Ag+Cu+Fe+Pb):Te обычно близко к 8; атомное отношение (Au+Ag+Cu+Fe):(Te+Pb) весьма близко к 4.

Близость всех интенсивных отражений богдановита и золота (рис. I) дает основание предполагать, что структура богдановита близка к ГЦК решетке золота. По сравнению с золотом рентгенограмма богдановита содержит дополнительные отражения, которые как и сильнейшие отражения индицируются исходя из примитивной псевдокубической субъячейки с a_0 = 4,087 А. Наличие дополнительных отражений свидетельствует о том, что богдановит обладает сверхструктурой, производной от ГЦК решетки золота. Из этих данных, согласно [I3] следует, что состав устойчивой сверхструктуры замещения или внедрения должен отвечать Me_4X или Me_4X_3.

Химический состав минерала отвечает Me_4X, где X = Te+Pb, Me = Au+Ag+Cu+Fe. Так как изоморфные замещения Au-Te и Au-Pb невероятны, сверхструктура богдановита должна быть структурой внедрения. Вероятно, остов сверхструктуры богдановита образуют атомы Au, Cu и Fe, распределение которых в узлах ГЦК решетки может быть близким к статистическому $[Au_{5/8}(Cu,Fe)_{3/8}]$. Атомы внедрения Te и Pb заполняют одну из трех подрешеток октаэдрических междоузлий ГЦК решетки. Предполагаемая субъячейка содержит I формульную единицу $[Au_{5/8}(Cu,Fe)_{3/8}]_4(Te,Pb)$. Соот-

Агинское		Жана-Тюбе		Агинское			
безсмертновит		минерал № I3	минерал № I5	"билибинскит"		"безсмертновит"	
n =7(I0) [8]	n=3* [II]	n=3* [I2]	n=4* [I3]	n=I0 (I4) [2]	n=6 (I5) [3]	n=2 (I6) [2]	n=2 (I7) [3]
72,3	73,6	49,7	53,3	63,2	6I,5	87,3	86,2
3,77	2,72	I0,48	2,03	2,36	3,48	0,60	3,9
6,27	8,65	0,06	I6,26	8,20	6,97	5,I5	I,3
0,72	0,32	II,88	0,54	-	0,08	-	0,5
-	-	-	-	-	0,28	-	-
7,I6	9,85	I3,64	9,48	I8,06	I7,57	4,80	4,5
8,95	3,99	I2,87	I7,6I	I,88	4,43	0,0	0,6
-	-	-	-	-	0,28	-	-
-	-	I,98	-	-	0,03	-	0,I
-	-	-			-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	0,60	-	-	-
-	-	-	-	5,23	4,40 2x	2,25	I,I 2x
99,2	99,I	I00,6	I0I,6	99,5	99,0	I00,I	98,2

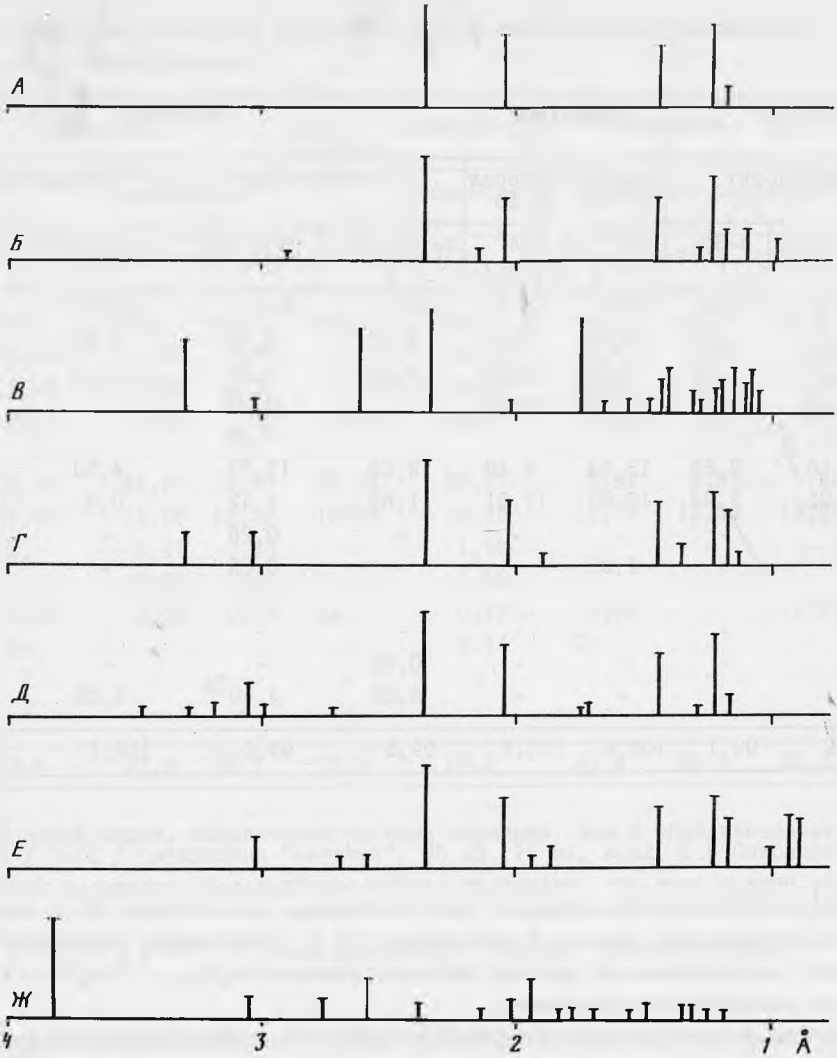
ношения интенсивностей отражений рентгенограммы, рассчитанные по этому варианту формулы богдановита, близки к измеренным [8]. Соотношения интенсивностей отражений, рассчитанные по другому варианту формулы $Me_4X_{0,5}$ = $[Au_4(Cu,Fe)_3Pb]Te$, сильно отличаются от измеренных.

Наблюдаемая рентгеновская картина богдановита соответствует псевдокубической субъячейке; но поскольку минерал оптически двуосный, симметрия богдановита не выше ромбической, что, видимо, обусловлено частичным упорядочением атомов металлов.

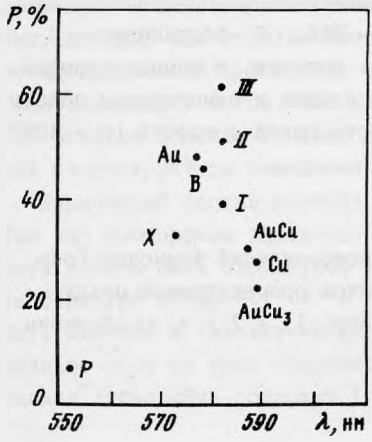
Богдановит обладает металлическим типом проводимости и относительно высокой твердостью: Fe-богдановит - 320, Cu-Fe-богдановит - 3I0, Cu-богдановит - 255 кг/мм^2. По важнейшим цветовым характеристикам - чистоте, а точнее насыщенности, цвета (p) и цветовому тону (λ) - богдановит близок к самородному золоту и вулканиту CuTe (рис. 2). Отметим, что насыщенность цвета у золота (p = 48%) самая высокая из известных рудных минералов [4].

Билибинскит и сходные минералы

Химический состав билибинскита новых образцов месторождений Агинское (обр. 2,3) и Озерновское (обр. 4) по большинству компонентов промежуточный между опубликованными составами агинского билибинскита (обр. I) [7] и Sb-билибинскита месторождения Пионерское (обр. 5) [II].



Р и с. I. Штрихдиаграммы самородного золота (А), богдановита (Б) [8], безсмертновита (В) [9], минерала, оптически сходного с безсмертновитом (Г) [2], билибинскита (Д) [7], минералов, оптически сходных с билибинскитом, (Е) [2] и (Ж) [3]



Р и с. 2. Цветовые характеристики (относительно источника света С) в координатах Р (чистота, насыщенность цвета) - λ (цветовой тон) золота (Au), меди (Cu), купроаурита (AuCu), аурикуприта ($AuCu_3$), халькопирита (Х), вулканита (В), риккардита (Р), билибинскита (I), богдановита (II), безсмертновита (III)

Рентгенограмма порошка билибинскита близка к золоту (ГЦК решетка), но содержит много дополнительных отражений средней и небольшой интенсивности (см. рис. I,Д), что допускает аналогию с ОЦК решеткой мошельландсбергита Ag_5Hg_8. Кристаллическая решетка мошельландсбергита аналогична структуре γ-латуни Cu_5Zn_8, которая обычно рассматривается как разупорядоченная дефектная сверхструктура к ОЦК структуре [5].

Соотношения атомов разного сорта у билибинскита такое же (5 : 8), как у мошельландсбергита и γ-латуни. Состав билибинскита варьирует обычно от $(Au_5Cu_3)\Sigma_8(Te_{3,2}Pb_{1,8})\Sigma_5$ до $(Au_6Cu_2)\Sigma_8(Te_{3,2}Pb_{0,6}Sb_{0,6}Bi_{0,2})\Sigma_5$.

В работе [I0] даны составы минералов группы билибинскита-богдановита № 2, 5, I2, которые оптически близки к билибинскиту, но заметно отличаются от него по химическому составу. В таблице приведены составы минерала № I3 из месторождения Жана-Тюбе (обр. I2) и агинского минерала № I5 (обр. I3), которые по составу резко отличны от билибинскита, но оптически близки к последнему.

Микротвердость билибинскита 329-4I4, сурьмянистой разновидности - 243-345 кг/мм^2. Твердость билибинскита и богдановита значительно выше, чем теллуридов меди: риккардит - 60-85, вейссит - 75-I05 кг/мм^2.

Минералы, названные в работе [2] билибинскитом, не соответствуют типичному билибинскиту по химическому составу (см.таблицу, обр. I4) и по рентгенограмме (см. рис. I,Е), а также по величине отражения [I4]. В билибинските соотношение атомов разного сорта Me : X = 8 : 5, т.е. менее 2, в сравниваемом минерале Me : X = I0 : 3, т.е. более 3; кроме того, в билибинските не обнаружены Ca и O. По данным в работе [2], билибинскит содержит до 6 мас.% кислорода. Кислород на микрозонде в билибинските определять трудно, поскольку его аналитические линии близки к линиям золота и свинца. Трудности усугубляются тем, что билибинскитоподобные минералы легко окисляются, превращаются в тонкозернистые агрегаты Au, TeO_2, $CuTeO_3$ и других теллуритов. Предположим, что оценка содержаний кислорода в билибинските у Л.И.Бочек [2] верна, в этом случае кислород будет занимать около половины объема структуры минерала. Как это согласовать с тем, что насыщенность цвета у билибинскита близка к золоту и значительно выше, чем у медистого золота (см. рис. 2), и с тем, что у него проводимость металлического типа?

Минерал, названный Н.В.Лебедевой [3] билибинскитом, по составу (обр. I5, см. таблицу) близок к "билибинскиту" Л.И.Бочек (обр. I4); рентгенограмма его (см. рис. I,Ж) не имеет ничего общего с рентгенограммами "билибинскита" Л.И.Бочек и топотипа билибинскита. Следовательно, называть изученные Л.И.Бочек и Н.В.Лебедевой фазы билибинскитом некорректно.

По данным [2], билибинскитоподобные минералы - это минералы-сэндвичи, из чередующихся слоев медистого золота и теллурита TeO_2; эта модель привлекается для объяснения необычных оптических свойств данных минералов. Модель слоистой структуры полностью противоречит наблюдаемым рентгеновским данным, ей не соответствуют высокая твердость билибинскита и богдановита и малая анизотропия их твердости. По оптическим свойствам билибинскит и особенно богдановит близки к вулканиту [I4]. Структура вулканита - производная от структуры флюорита [5]. Особенности оптических свойств теллуридов меди - вулканита и риккардита - обусловлены не слоистой структурой, а взаимодействием меди и теллура в кристаллическом поле этих минералов. Можно полагать, что необычные оптические свойства плюмботеллуридов золота - меди типа билибинскита и богдановита обусловлены той же причиной.

Безсмертновит и сходные минералы

Микроскопически безсмертновит заметно отличается от других минералов группы билибинскита. Насыщенный оранжевый цвет безсмертновита напоминает цвет спелых апельсинов (апельсины из Марокко).

Химический состав агинского безсмертновита новых образцов (обр. II, см.таблицу) близок к опубликованному [8], отличаясь несколько повышенными содержаниями Te и Cu и пониженными - Pb. Микротвердость безсмертновита 353-360 кг/мм^2.

Рентгенограмма минерала отличается от рентгенограммы золота наличием массы отражений средней и малой интенсивности (см. рис. I, В). Рентгенограмма безсмертновита подобна рентгенограмме соединения Au_4Zn, у которого такое же соотношение (4 : I) атомов разного сорта. По характеру рентгенограмм и величинам соотношений $a_o \approx 6b_o$ и $c_o \approx 4b_o$ можно полагать, что основу структуры безсмертновита составляет разупорядоченная ГЦК псевдоячейка.

Минерал, названный в работах [2,3] безсмертновитом (см.таблицу, обр. I6, I7), не соответствует типичному безсмертновиту по химическому составу. В рентгенограмме сравниваемого минерала (см. рис. I, Г) отсутствуют два сильнейших отражения безсмертновита 2,6I A (I = 8) и I,744 A (8-9), отражения средней интенсивности I,427 (3), I,405 (4) и ряд других, но присутствует сильное отражение I,445 A (I = 6), которого нет в рентгенограмме топотипа безсмертновита. Следовательно, название "безсмертновит" использовано для сходной с ним по оптическим свойствам фазы некорректно.

Если предположить, что оценка содержаний кислорода в безсмертновите у Л.И.Бочек [2] верна, тогда кислород будет занимать около трети объема структуры минерала. Как это согласовать с тем, что насыщенность цвета у безсмертновита чрезвычайно высока (р = 62% !); максимальна из всех известных рудных минералов - в I,5 раза выше золота (!), и с тем, что у безсмертновита проводимость металлического типа?

Заключение

Из-за чрезвычайно малого размера индивидуальных зерен минералов группы билибинскита-богдановита выполнить монокристальную съемку и достоверно решить структуры этих минералов (и уточнить их состав таким путем) не удалось. Для подобного материала возможно лишь предположительное решение по аналогии с известными структурами. Данные минералы обладают сверхструктурами, производными от ГЦК решетки золота. Из рентгеновских характеристик богдановита следует объединение Au, Cu, Fe, Ag в одной структурной позиции Me (остов ГЦК решетки) и объединение Te, Pb, Sb, Bi в другой позиции X (атомы внедрения). Предположению о значительных содержаниях кислорода в минералах группы билибинскита-богдановита [2] противоречат чрезвычайно высокая насыщенность цвета у этих минералов (самая высокая из всех известных рудных минералов) и высокие величины отражения. Таким образом, данные минералы можно рассматривать как плюмботеллуриды и стибиоплюмботеллуриды.

Предположению о слоистой структуре минералов группы билибинскита-богдановита [2] противоречат их рентгеновское характеристики, высокая твердость и незначительная анизотропия твердости.

Желательно дальнейшее изучение минералов группы с помощью различных методов электронной микроскопии и Оже-спектроскопии.

Находки гипергенных минералов группы билибинскита-богдановита в зонах выветривания являются прямым поисковым признаком концентрированного эндогенного золото-теллуридного оруденения.

Литература

I. Боришанская С.С. Теллуриды в золоторудных месторождениях СССР и их диагностика: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1946. 225 с.

2. Бочек Л.И., Малиновская Ю.А., Сандомирская С.М. Билибинскит и безсмертновит - не интерметаллиды золота, а новые гибридные минералы типа интерметаллид-оксид // Докл. АН СССР, 1982. Т. 266, № 5. С. 1255-1259.

3. Лебедева Н.В. Минералогия теллуридов золота и серебра: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1987. 17 с.

4. Некрасов И.Я. Новое в минералогии благородных и редких металлов // Минерал. журн. 1988. № 3. С. 12-20.

5. Пирсон У.Б. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. М.: Мир, 1977. Ч. 1. 419 с.

6. Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Наука, 1959. 257 с.

7. Спиридонов Э.М., Безсмертная М.С., Чвилева Т.Н. Билибинскит - новый минерал золото-теллуридных месторождений // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1978. Ч. 107, вып. 3. С. 310-315; Вып. 4. С. 501.

8. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Богдановит $Au_5(Cu,Fe)_3(Te,Pb)_2$ - новый минерал из группы интерметаллических соединений золота // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1979. № 1. С. 44-52.

9. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Безсмертновит $Au_4Cu(Te,Pb)$ - новый минерал из зоны окисления месторождений Дальнего Востока // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249, № 1. С. 185-189.

10. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Новые минералы золота - плюмботеллуриды золота, меди, железа, серебра (группа билибинскита) // Новые данные о минералах. 1982. Вып. 30. С. 140-147.

11. Спиридонов Э.М., Чвилева Т.Н. Сурьмянистый билибинскит (вторая находка билибинскита) // Докл. АН СССР. 1982. Т. 265, № 5. С.1243-1247.

12. Тимофеевский Д.А. Находка в СССР гипогенных теллуридов меди // Там же. 1969. Т. 184, № 2. С. 425-428.

13. Хачатурян А.Г. Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974. 238 с.

14. Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 505 с.

15. Harris D.C., Sinclair W.D., Thorpe R.J. Telluride minerals from the Ashley deposit, Bannockburn Township, Ontario // Canad. Miner. 1983. Vol. 21. P. 137-143.

10.Зак.1479

М И Н Е Р А Л О Г И Ч Е С К И Е З А М Е Т К И

УДК 549.73I.II (235.2II)

С.А.Ананьев, В.К.Гаранин, С.И.Коноваленко, Г.П.Кудрявцева, И.Понайло

ФИОЛЕТОВАЯ ШПИНЕЛЬ ИЗ ХЛОРИТ-ШПИНЕЛЕВЫХ ПОРОД (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)

Заоблачные горы Памира издавна считались родиной красной благородной шпинели - бадахшанского лала. Историческая хроника донесла до нас сведения о том, что ее главное месторождение в Бадахшане - Кухилал (Гора лалов) - отрабатывалось уже в IX в. [8,3], а чуть позже знаменитый уроженец Хорезма Ал-Бируни дал и первое научное описание этих труднодоступных копей [I,2].

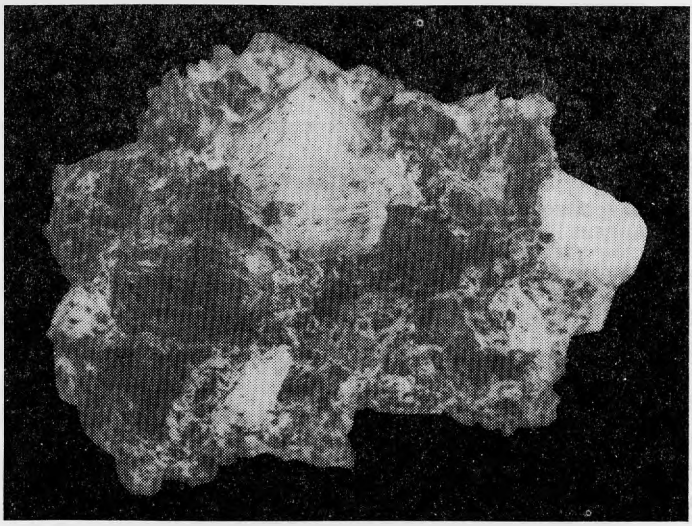
За десять с лишним веков эксплуатации слава памирской шпинели разлетелась по всему миру, а из недр горы, возвышающейся на правом берегу р.Пяндж у кишлака Горон (в настоящее время он называется Кугиляль), были выбраны сотни тысяч тонн породы. О масштабе проведенных здесь работ красноречиво свидетельствуют 453 горные выработки общей протяженностью в несколько километров многоярусными этажами, пронизывающие белый пласт минерализованных мраморов. Сколько разошлось отсюда по базарам и дворцам прекрасной алой шпинели, никто не знает. Только в один не очень удачный для рудника I894 г., согласно донесению контролировавшего добычу чиновника, за сезон длиною в три месяца было добыто 22 мискаля 20 нухудов, т.е. около I025 г крупных лалов, и соответственно 399 мискалей 9 нухудов (I837 г) мелких и желтых [4]. Случались и уникальные находки. Последняя сделана совсем недавно, в I985 г., и, по-видимому, не имеет себе равных не только на Кухилале, но и на других месторождениях мира. Из форстеритовой породы геологами рудника был извлечен хорошо ограненный октаэдрический кристалл благородной шпинели весом более 5 кг [5].

В Европе о памирской шпинели, скорее всего, узнали лишь после возвращения из путешествия неутомимого венецианского купца Марко Поло. Несомненно, однако, что в самом памирском Бадахшане уже были известны, кроме Кухилала, и другие проявления благородной шпинели. Недаром у местных жителей до сих пор бытует поговорка: "Голова лала в Ямчине, тело - в Сумджине, а ноги - в Кухилале". Упоминаемые здесь речные долины действительно известны сделанными в наше время повторными находками красной шпинели. Найдена она и в других точках Западного Памира - Ямг, Вранг, Ляджвар, Шамбеде [5,7]. Однако гораздо чаще среди архейских мраморов и развитых по ним магнезиальных скарнов встречается не розово-красная шпинель, относимая к лалу, а ее полупрозрачная и непрозрачная разновидность серо-фиолетового цвета.

Такую окраску минерала обусловливает примесь ионов Fe^{2+}, находящихся в тетраэдрических Mg-позициях [7], в то время как для лала обязательно присутствие в решетке шпинели заметных количеств более редкого для пород Памира элемента - хро-

ма (0,5-1,5 мас.% Cr_2O_3). До сих пор фиолетовая шпинель в регионе рассматривалась только как потенциально возможный драгоценный камень, поскольку, несмотря на обилие ее находок, все они относились либо к очень мелким и редким кристаллам в мраморах, либо к более крупным, но сильно трещиноватым и непрозрачным выделениям среди форстеритовых и форстерит-флогопитовых скарнов.

Это положение в корне изменила удивительная находка, сделанная летом 1989 г., когда в долине р.Горон на Юго-Западном Памире (примерно в 30 км к юго-востоку от Кухилала) была обнаружена практически биминеральная хлорит-шпинелевая порода, в которой до половины объема составляла фиолетовая шпинель ювелирного состава в виде прекрасно образованных октаэдрических кристаллов (рис. 1).



Р и с. 1. Октаэдрические кристаллы шпинели в породе. Увел. 2

Новое проявление, как и месторождение Кухилал, приурочено к нижней части докембрийского разреза Ваханской кристаллической толщи, сложенной глубокометаморфизованными породами архейского возраста горанской серии [9]. Последние в районе проявления представлены сильно мигматизированными светло-серыми биотитовыми гнейсами с мощными пластами кальцит-доломитовых, доломитовых и доломит-магнезитовых мраморов. В мраморах повсеместно наблюдаются участки и зоны магнезиальных скарнов форстеритового, энстатитового и флогопитового состава. Скарны подвержены наложенным процессам отталькования и серпентинизации, причем продуктивная шпинелевая минерализация встречена только среди сильно серпентинизированных шпинель-форстеритовых разностей. На контакте с гнездами ювелирной шпинели такие скарны переходят в массивный серпентинит серо-зеленого и черного цвета. Отдельные слабо переработанные желваки серпентинитов (до 10 см в диаметре) обнаруживаются и внутри гнезд. В целом ситуация явно напоминает Кухилал, с той лишь разницей, что гидротермально-измененная разновидность шпинель-форстеритовых скарнов содержит на Гороне в качестве продуктивных зон не рыхлые лизардитовые и лизардит-хризотиловые агрегаты, а довольно вязкую, хотя и пористую массу среднечешуйчатого хлорита.

Таблица I

Химический состав (в мас.%) клинохлора и бледно-фиолетовой шпинели

Оксиды	Клинохлор				Шпинель		
	ан. I	ан. 2	среднее	ан. 3	ан. 4	ан. 5	среднее
SiO_2	36,75	36,27	36,0I	-	-	-	-
TiO_2	-	-	-	0,I0	-	0,I0	0,I0
Al_2O_3	27,30	26,4I	26,85	70,96	7I,37	7I,44	7I,26
Cr_2O_3	0,06	-	0,03	-	0,03	-	0,0I
FeO	0,45	0,52	0,48	2,45	2,2I	2,22	2,29
MgO	36,I3	36,67	36,40	26,43	26,39	26,20	26,3I
MnO	0,04	0,I2	0,08	0,04	-	0,02	0,02
CaO	0,05	-	0,02	-	-	-	-
Na_2O	0,23	-	0,II	-	-	-	-
Сумма	I00,0I	99,99	99,98	99,98	I00,00	99,98	92,99

Примечание. Определение состава минералов выполнено на растровом электронном микроскопе JSM-820 (Япония) с энерго-дисперсионной приставкой AN-10/85S (Англия).

Кристаллохимические формулы шпинели:

3 - $(Mg_{0,943}Fe^{2+}_{0,049}Mn_{0,001})_{0,993}(Al_{2,002}Ti_{0,002})_{2,004}O_{3,998}$

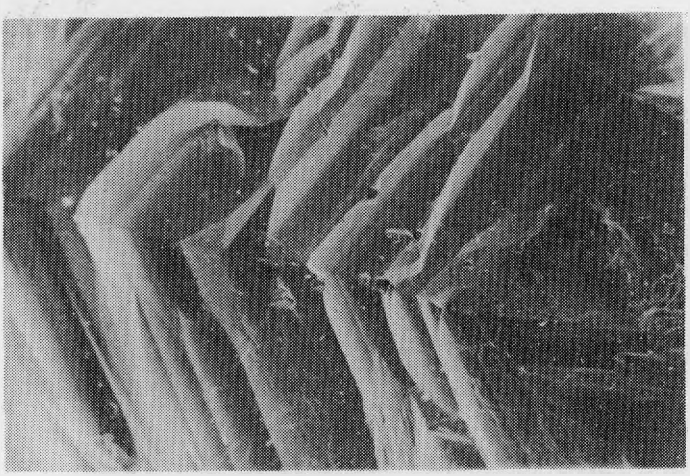
4 - $(Mg_{0,940}Fe^{2+}_{0,044})_{0,984}(Al_{2,010}Cr_{0,001})_{2,011}O_{4,00}$

5 - $(Mg_{0,933}Fe^{2+}_{0,044})_{0,977}(Al_{2,012}Ti_{0,002})_{2,014}O_{3,997}$

По составу хлорит отвечает практически безжелезистому клинохлору (табл. I) с рассчитанной формулой $(Mg_{4,42}Fe^{2+}_{0,03})_{4,45}Al_{1,55}[(Si_{2,91}Al_{1,09})_{4,00}O_{10}](OH_{7,54}O_{0,46})_{8,00}$. Окраска минерала меняется от серовато-белой до грязно-зеленой, причем в таблитчатых кристалликах из мелких пустот всегда видна зональность в ее распределении. Ядерная часть и наружная кайма табличек светло-серые до бесцветных, а темно-зеленой является только тонкая промежуточная зона.

В шпинель-хлоритовых гнездах, максимальный размер которых 0,2xI м, хлорит несколько преобладает по объему над шпинелью. Однако по весу шпинель составляет в них 52-54%, а хлорит - 45-47%. На остальные минералы в среднем приходится I%. Наиболее часто, кроме хлорита и шпинели, встречается оранжевый и медово-желтый клиногумит в виде крупных (до 5 см) сильно трещиноватых желваков. Значительно реже наблюдается железно-черный ильменит в мелких (до I мм) толстотаблитчатых кристаллах.

В ряде гнезд отмечена также явно более поздняя по времени формирования минеральная ассоциация, в состав которой входят арагонит, гидротальки т, манассеит. Указанные минералы образуют мелкие друзки, корочки и прожилки в пустотах хлоритового агрегата, т.е. развиты довольно слабо, и крупных сплошных тел, подобных знаменитым магалам Кухилала, на проявлении не формируют. С данным обстоятельством, по-видимому, связано отсутствие следов глубокого растворения на гранях кристаллов ювелирной шпинели Горона. Среди них, в частности, не обнаружено криволинейных и округлых индивидов, столь характерных для красной шпинели Кухилала [8]. В продуктивной зоне проявления встречены только плоскогранные кристаллы октаэдрического облика и их двойниковые сростки по шпинелевому закону (рис. 2).

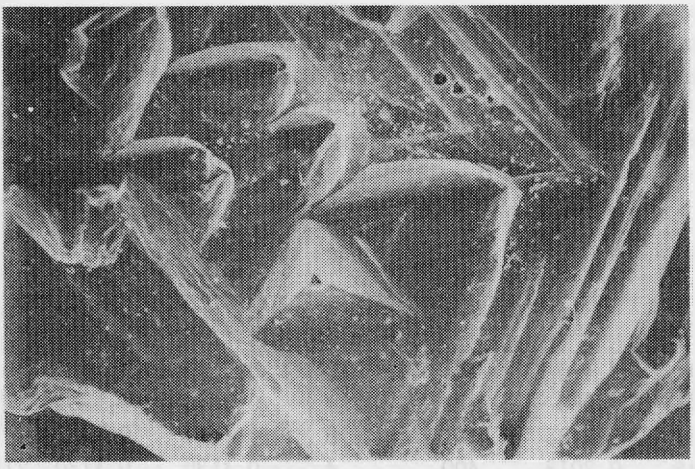


Р и с. 2. Двойниковый шов в кристалле шпинели. Плоскость срастания (III)

Изображения во вторичных электронах. Увел. 30

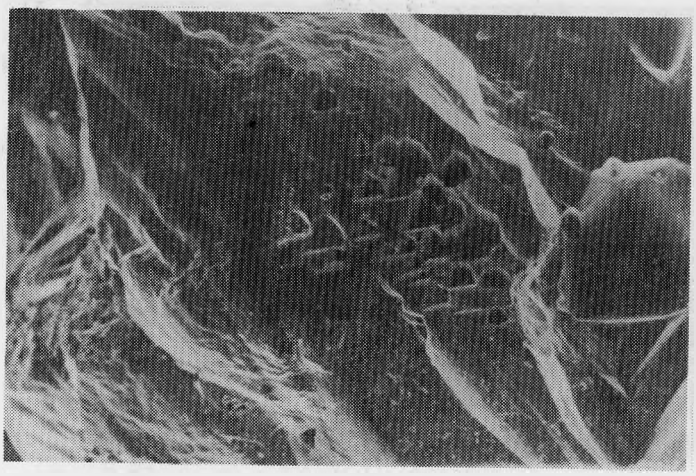
Те и другие часто заметно уплощены по (III) и всегда несут четко выраженные ступенчато-пластинчатые формы роста. Рост октаэдрических граней кристаллов осуществляется как из одного, так и из многих центров (рис. 3). Слабо проявленные формы растворения представлены узкими трубчатыми каналами с треугольным или квадратным устьем (рис. 4), отрицательными треугольными пирамидками и мелкими треугольными углублениями с плоским дном.

Размер кристаллов шпинели меняется от 3 до I5 мм. По составу (см.табл. I) она отвечает почти чистой магнезиальной разности с небольшой примесью герцинитового



Р и с. 3. Многоцентровой рост октаэдрической грани шпинели

Изображения поверхности во вторичных электронах. Увел. 30



Р и с. 4. Полые каналы растворения на грани октаэдра
Изображения во вторичных электронах. Увел. 50

минала (4,5-5,0% $FeAl_2O_4$). Показатель преломления равен I,723±0,002. Рентгенограмма близка к эталонной (табл. 2). Параметр элементарной ячейки a_o=0,8072 нм. Расчетная плотность 3,634 г/см^3, измеренная - 3,592 г/см^3.

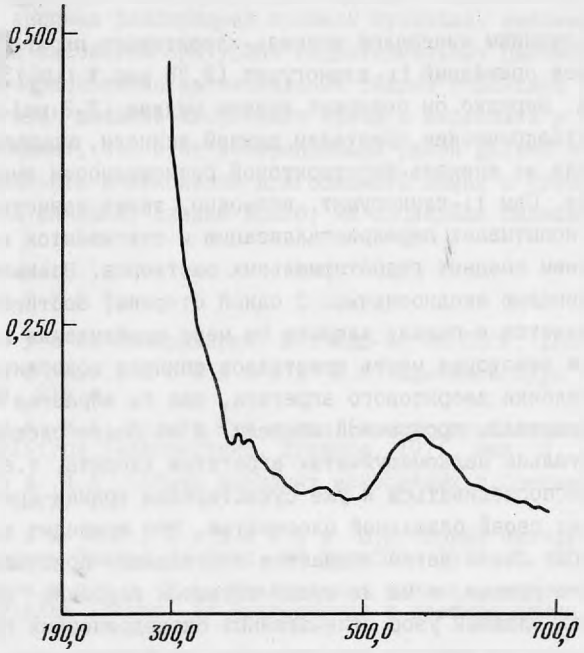
Оптический спектр ювелирной шпинели Горона (рис. 5), снятый на спектрофотометре MPS-2000 японской фирмы "Шимадзу", подобен ранее изученному оптическому спектру обычной фиолетовой шпинели Юго-Западного Памира [7]. Это свидетельствует о том, что ведущую роль в фиолетовой окраске вновь найденных кристаллов также играют ионы Fe^{2+}. Валентность железа подтверждается изучением мёссбауэровского спектра, в котором присутствует только одна нерасщепленная полоса поглощения со значением изомерного сдвига, характерного именно для ионов Fe^{2+}. Из других элементов-хромофоров в шпинели в незначительном количестве присутствуют Mn, Cr и Ti (см. табл. I). Mn^{2+} обнаруживается и в спектре рентгенолюминесценции по умеренно интенсивной полосе излучения в области 520-540 нм. Вторая, более слабая (в 3,5-4 раза) полоса, в области 790-800 нм, пока не связывается ни с одним из максимумов известных примесных центров. Основная линия в области 520-540

Т а б л и ц а 2

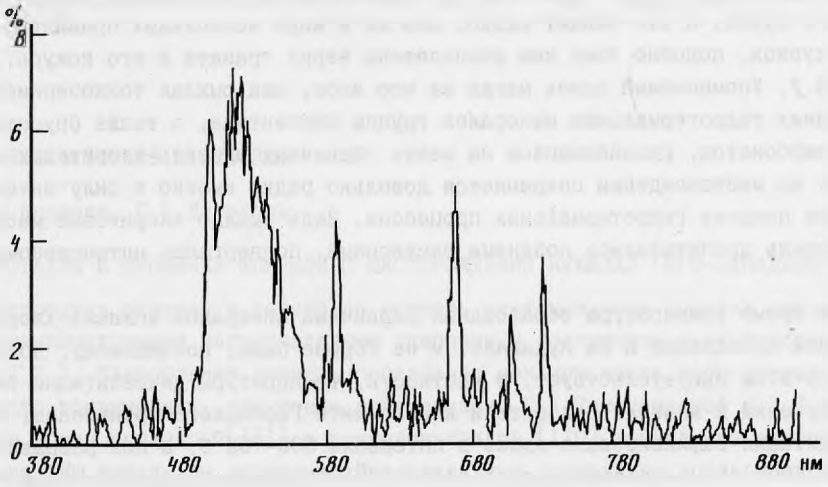
Межплоскостные расстояния (в нм) фиолетовой шпинели Горона

I	$d_{изм}$	$d_{выч}$	hkl	I	$d_{изм}$	$d_{выч}$	hkl
4	0,464	0,466	III	I0	0,I429	0,I427	440
5	0,284	0,285	220	7	0,I23I	0,I23I	533
9	0,2430	0,2433	3II	6	0,II66	0,II65	444
8	0,20I6	0,20I8	400	4	0,II30	0,II30	7II; 55I
4	0,I648	0,I648	422	6	0,I079	0,I079	462
7	0,I553	0,I553	5II; 333	9	0,I05I	0,I05I	73I; 553

П р и м е ч а н и е. D = 57,3 мм, FeK_α; внутренний стандарт - NaCl. Аналитик Е.П.Петухов.



Р и с. 5. Оптический спектр поглощения фиолетовой шпинели р. Горон в видимой области, полученный на спектрофотометре MPS -2000



Р и с. 6. Спектр катодолюминесценции фиолетовой шпинели р. Горон, полученный на оптическом микроспектрофотометре

нм проявляется и в спектре катодолюминесценции шпинели, обладающей зеленым свечением (рис. 6).

Судя по взаимоотношениям минералов шпинель-хлоритового парагенезиса, наиболее ранним из них является оранжевый Ti-клиногумит (3,35 мас.% TiO_2), тяготеющий к краевым частям гнезд. Нередко он содержит внутри мелкие (2-3 мм) мутно-фиолетовые гладкогранные октаэдрические кристаллы ранней шпинели, аналогичной по составу и свойствам шпинели из шпинель-форстеритовой разновидности вмещающих зону магнезиальных скарнов. Сам Ti-клиногумит, возможно, также заимствуется из скарнов, однако он явно испытывает перекристаллизацию и стягивается в крупные желваки уже под воздействием поздних гидротермальных растворов. Взаимоотношения клинохлора с ювелирной шпинелью неоднозначны. С одной стороны, соотношение хлорита и шпинели в гнездах меняется в пользу хлорита по мере приближения к контакту с вмещающими скарнами и некоторая часть кристаллов шпинели содержит внутри глубоко погруженные в нее столбики хлоритового агрегата, как бы обрастая их, с другой - обычно и одиночные кристаллы прозрачной шпинели и их более сложные сростки резко идиоморфны относительно мелкочешуйчатых агрегатов хлорита, т.е. листочки последнего вынуждены приспосабливаться к уже существующим граням кристаллов шпинели, ориентируясь вдоль них своей базальной плоскостью. Это приводит к тому, что шпинель-хлоритовый агрегат очень легко поддается обогащению. Кристаллы шпинели легко извлекаются из него руками, а на их месте остаются глубокие "ограненные" гнезда, несущие на стенках сложный узор отпечатанных октаэдрических граней.

Данное обстоятельство не кажется удивительным, поскольку давно известно, что и на Кухилалском месторождении наиболее богатые ювелирной шпинелью участки также легко разбираются руками. Еще знаменитый Ал-Бируни писал: "И этот лал находят в оболочке из белого камня, похожего на горный снег; название оболочки вместе с тем, что находится в ней, - магал. Он бывает различных размеров: находят куски величиной от ореха до дыни, но никогда не упоминали, чтобы он был больше трех ратлей. Когда сдерут с него оболочку, то показывается драгоценный камень или в виде одного куска, а это бывает редко, или же в виде нескольких правильно расположенных кусков, подобно тому как расположены зерна граната в его кожуре..." [1, с. 76]. Упоминаемый здесь магал не что иное, как рыхлая тонкозернистая смесь поздних гидротермальных минералов группы серпентина, а также брусита, манассеита и карбонатов, развивающихся на месте первичных шпинель-хлоритовых гнезд. Сам хлорит на месторождении сохраняется довольно редко именно в силу интенсивного развития поздних гидротермальных процессов. Ведь рыхлые хлоритовые массы в первую очередь пропитывались поздними растворами, подвергаясь интенсивному замещению.

В то же время температура образования первичных минералов шпинель-хлоритовой продуктивной ассоциации и на Кухилале, и на Гороне была, по-видимому, достаточно высокой. Об этом свидетельствуют, в частности, температуры декрепитации газово-жидких включений в шпинели, хлорите и клиногумите Горонского проявления. Массовая декрепитация зафиксирована здесь в интервале 500-700°С, а пик разрывов приходится на 600°. Близкая температура (640-700°) определена ранее методом гомогенизации газово-жидких включений в шпинели магнезиальных скарнов Юго-Западного Памира [8].

Поздние гидротермальные процессы, температурные параметры которых, судя по пределам устойчивости манассеита, не превышали 200°С, вряд ли могли вызвать заметную регенерацию с облагораживанием кристаллов шпинели, но явно приводили к

ее интенсивному растворению [6]. Таким образом, ювелирная фиолетовая шпинель Горона, как и красная благородная шпинель Кухилала, несомненно является продуктом воздействия высокотемпературных гидротермальных растворов неясной пока природы на ранее образованные магнезиальные скарны горанской серии.

Находка богатых шпинель-хлоритовых гнезд в верховьях р.Горон на Юго-Западном Памире подтверждает, что этот интереснейший район далеко не исчерпал свои потенциальные возможности в отношении драгоценного камня и прекрасные фиолетовые кристаллы ювелирной шпинели, скорее всего, не последняя ожившая легенда этих высоких гор.

Литература

1. Ал-Бируни. Минералогия. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 517 с.
2. Баратов Р.Б., Новиков В.П. Каменное чудо Таджикистана. Душанбе: Ирфон, 1988. 216 с.
3. Бубнова М.А. Рудник Кух-и-лал (к истории бадахшанских лалов) // Материальная культура Таджикистана. Душанбе, 1971. Вып. 2. С. 120-142.
4. Бубнова М.А. Добыча полезных ископаемых в Средней Азии в XVI-XIX вв. М.: Наука, 1975. 112 с.
5. Буданова К.Т., Буданов В.И. Новые находки благородной шпинели на Юго-Западном Памире // Докл. АН ТаджССР. 1978. Т. 21, № 6. С. 43-45.
6. Колесникова Т.А. Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // Драгоценные и цветные камни. М.: Наука, 1980. С. 181-199.
7. Лицарев М.А., Платонов А.Н., Таран М.Н., Польшин Э.В. Фиолетовая шпинель Юго-Западного Памира // Там же. С. 199-210.
8. Морозов С.А., Гуревич Я.А. О физико-химических условиях образования месторождения благородной шпинели Кухилал на Памире // Докл. АН ТаджССР. 1973. Т. 16, № 3. С. 47-50.
9. Хорева Б.Я., Искандерова И.Д., Шергина Ю.П. Возраст субстрата метаморфических серий Юго-Западного Памира по данным свинцово-изохронного метода // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1971. № 8. С. 40-46.

УДК 548.545:549.091 (575.32)

В.Н.Калачев, Г.И.Дорохова

КРИСТАЛЛЫ И ДВОЙНИКИ ШПИНЕЛИ С МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)

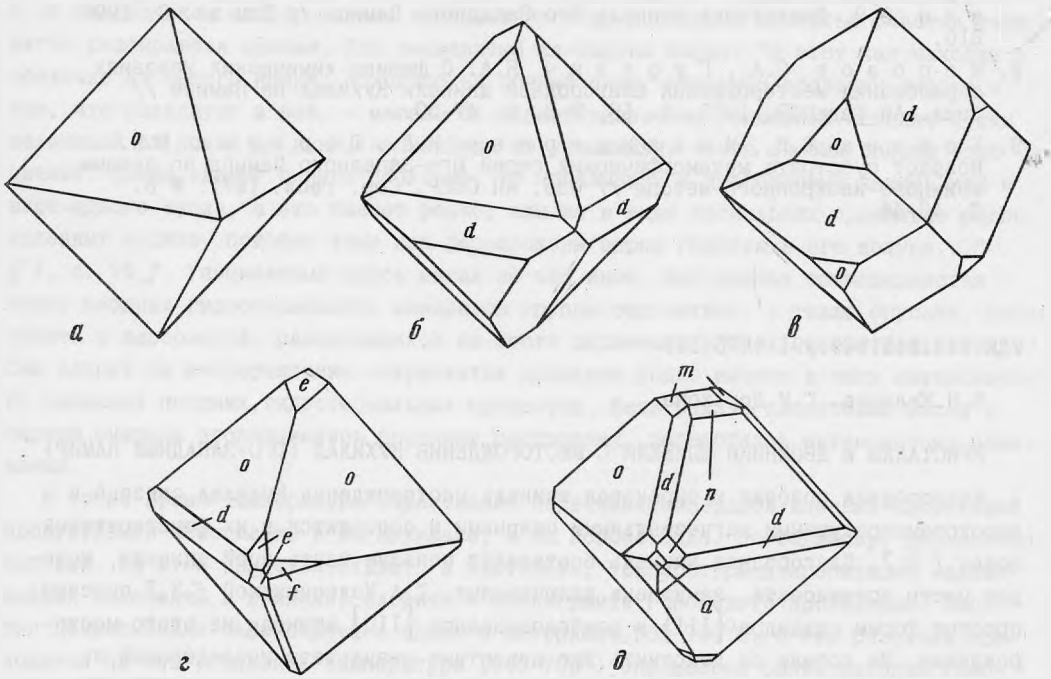
Благородная розовая и сиреневая шпинель месторождения Кухилал связана с высокотемпературными магнезиальными скарнами и содержится в их форстеритовых зонах [2]. Благородная шпинель составляет меньшую часть всей шпинели, которая часто трещиновата, замутнена включениями. Т.А.Колесниковой [3] описаны простые формы октаэдра {111} и ромбододекаэдра {110} шпинели из этого месторождения. Мы хотели бы дополнить уже известные результаты исследований по морфологии шпинели, что может быть полезным как для понимания условий образования шпинели, так и для характеристики шпинели как ювелирного сырья.

Шпинель, заключенная в форстерите, имеет преимущественно октаэдрическую огранку, а находящаяся в гнездах пирротина - ромбододекаэдрическую в комбинации с октаэдром (рис. 1,а-в). Редко встречаются кристаллы (около 3% от общего числа), имеющие, помимо указанных простых форм, отдельные грани тетрагон-

триоктаэдров {II2} и {II3} и тетрагексаэдров {I02} и {I03} (рис. I,г,д). Отметим, что простая форма {I02} описана на Mg-Al шпинели впервые [5,6]. Так как эта простая форма установлена на кристаллах магнетита и обозначена у В.Гольдшмидта буквой e, мы обозначили ее так же.

Часть этих редко встречающихся форм возникает на кристаллах вследствие частичного замещения шпинели минералами группы серпентина, гидротальк итом, тальком, иногда флогопитом с образованием оторочек вокруг шпинели разной толщины, а в случае талька или флогопита - индукционных поверхностей различной формы. В этом случае грани простых форм {II2}, {II3}, {I02}, {I03} имеют шероховатую неровную поверхность. Встречаются кристаллы, заключенные в гнездах пирротина без оторочек. На этих кристаллах грани возникли при росте и не корродировались, благодаря чему они имеют ровную гладкую поверхность. Один из таких кристаллов, найденных нами, наряду с гранями простых форм {III}, {II0}, {II2}, {II3} имеет грани куба {I00} (см. рис. I,д).

Очень интересны на месторождении двойники шпинели по [III]. В атласе кристаллических форм В.Гольдшмидта [6] в табл. 46-49 сведены многочисленные данные по исследованию кристаллов и двойников шпинели из разных месторождений, по месторождению Кухилал таких данных нет. Приведем описание морфологии двойников шпинели из месторождения Кухилал. Общее количество двойников по выборке из 854 кристаллов составляет 29%. В условиях амфиболитовой фации метаморфизма при высоком общем давлении и механической деформации по-



Р и с. I. Морфология реальных кристаллов шпинели:
а-в - часто встречающиеся; г,д - редкие. Простые формы: o {III}, d {II0}, n {II2}, m {II3}, f {I03}, e {I02}, a {I00}

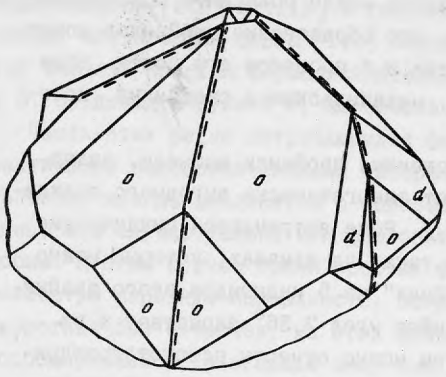
род, при росте кристаллов в твердой среде легко можно объяснить возникновение в шпинели трещин и двойников. Известно, что образование двойников может происходить как при зарождении кристалла, так и в процессе его роста. Нами выделены три типа двойников шпинели: роста, механические и смешанные, которые различаются по своей морфологии.

Чаще всего встречаются классические уплощенные двойники шпинели, являющиеся двойниками роста. Они уплощены за счет энергетически выгодного осаждения вещества во входящий угол двойника [1]. Реже встречаются циклические двойники - "пятерники" шпинели, отмечаемые также на алмазах, которые можно отнести к ростовым двойникам (рис. 2,а). "Цикл" из 5 индивидов этого двойника составляет $70{,}528^{\circ} \times 5 = 352{,}64^{\circ}$. Оставшийся угол $7{,}36^{\circ}$ зарастает и не виден у этого двойника. К ростовым двойникам можно отнести псевдотетраэдрические кристаллы шпинели (рис. 2,б), форма которых обусловлена двойникованием двух соседних (через вершину) граней октаэдра в виде узких зон, прилегающих к граням (плоскости двойникования указаны стрелками), и при росте кристалла входящими углами он приобретает тетраэдрический облик.

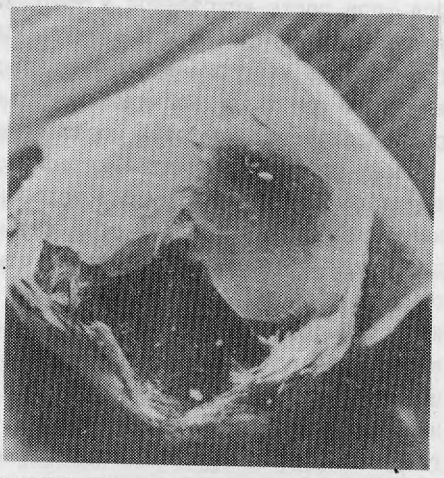
Двойник, изображенный на рис. 2,в, имеющий узкие зоны двойникования и двойниковые ступени на гранях октаэдров, обрывающиеся "на полпути", мы относим к механическим двойникам, хотя по принципам классификации двойников, изложенным Б.В.Чесноковым [4], они должны быть отнесены к ростовым. Наши доводы мы аргументируем тем, что этот двойник не уплощен, что обычно характерно для двойников роста, двойникующихся в одной плоскости. Сдвойникованный кристалл, изображенный на рис. 2,г, получился при сдвиге ощутимой амплитуды вдоль плоскости двойникования (пунктир) так, что виден участок кристалла, открывшийся при этом сдвиге (стрелки). Нижняя часть этого кристалла регенерировалась (ее не видно на рисунке), а верхняя - нет. На рис. 2,д показан двойник, который можно отнести к смешанному типу. Можно предположить, как он образовался: при росте монокристалла происходит частичное двойникование по одному из октаэдрических направлений, потом при дальнейшем росте место двойникования зарастает, а входящий угол сохраняется.

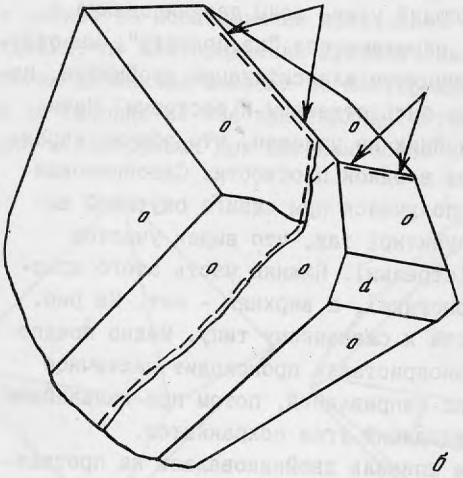
Из приведенных результатов видно, что шпинель двойниковалась на протяжении процесса роста, а также после закристаллизации пород при тектонических деформациях в них. Двойникование кристаллов шпинели сильно ухудшает ее качество как ювелирного сырья. При разбраковке кристаллов и их обломков на обогатительном участке месторождения и выявлении кондиционной и некондиционной шпинели можно воспользоваться приведенными фотографиями и рисунками.

В заключение мы приводим описание уникального кристалла благородной шпинели, найденного на месторождении Кухилал геологом Я.А.Гуревичем в августе 1985 г. Этот кристалл имеет размеры 17 см в самом длинном и 13 см в самом коротком измерении и весит около 5,7 кг. Он прозрачен, но разбит трещинами в разных направлениях, нетрещиноватые блоки имеют густую розовую окраску. Прикладным гониометром измерены углы между гранями кристалла; его стереографическая проекция и схематический рисунок представлены на рис. 3. Огранка представляет собой комбинацию граней октаэдра $\{111\}$, ромбододекаэдра $\{110\}$ и тетрагонтриоктаэдра $\{113\}$. Как и на большинстве реальных кристаллов, грани развиты неравномерно. Этот кристалл был извлечен из "магала" - скорлуповатой оболочки, состоящей из продуктов замещения шпинели в несколько сантиметров толщиной, поэтому грани имеют фигуры травления, а одна грань октаэд-

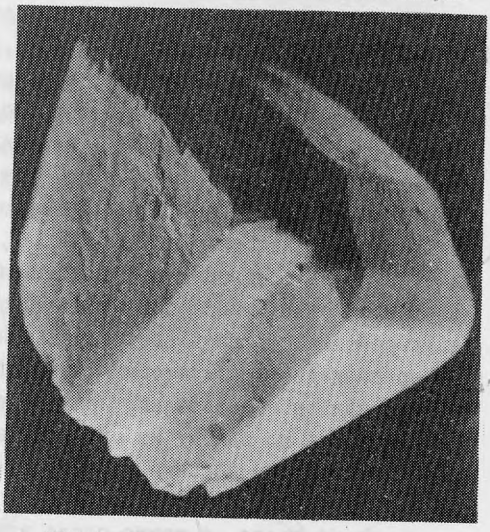


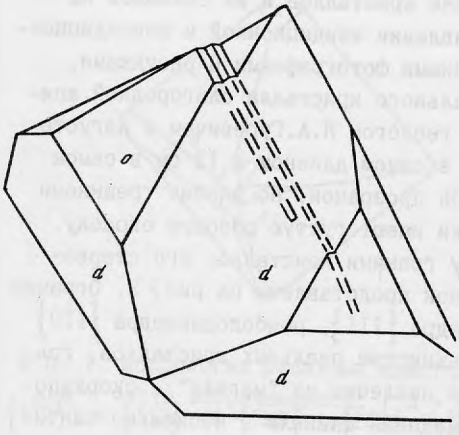
а



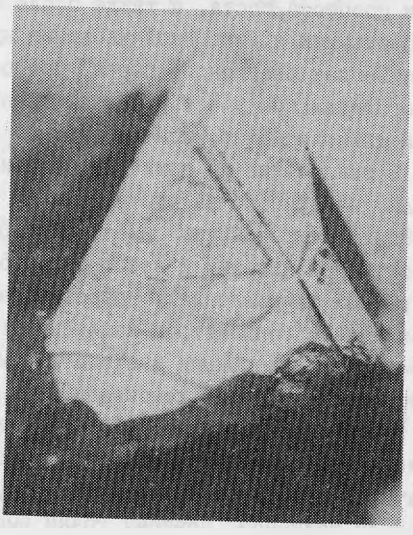


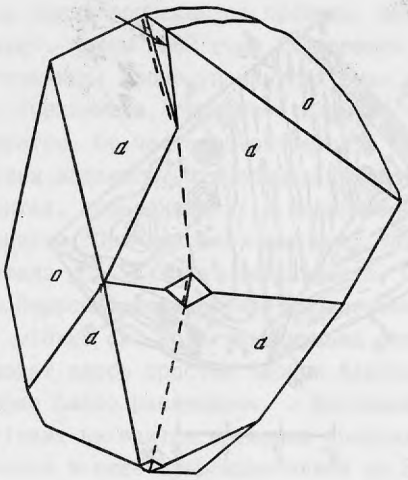
б



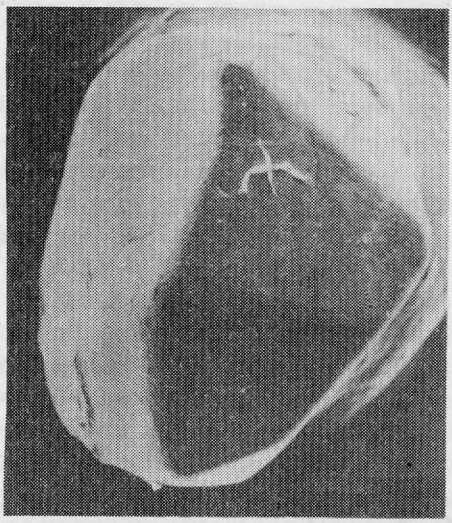


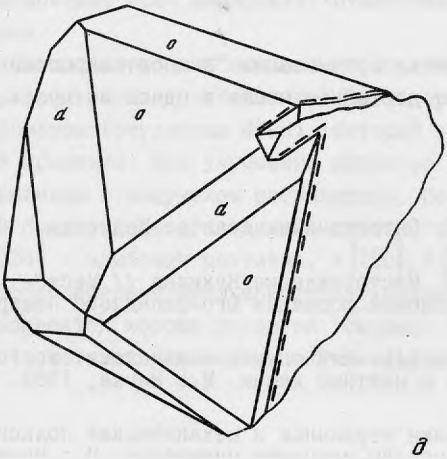
в



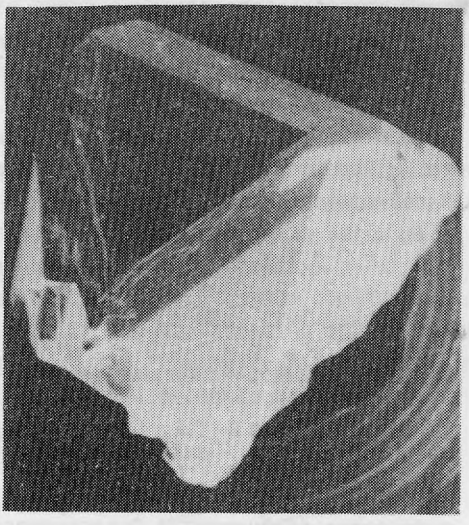


г





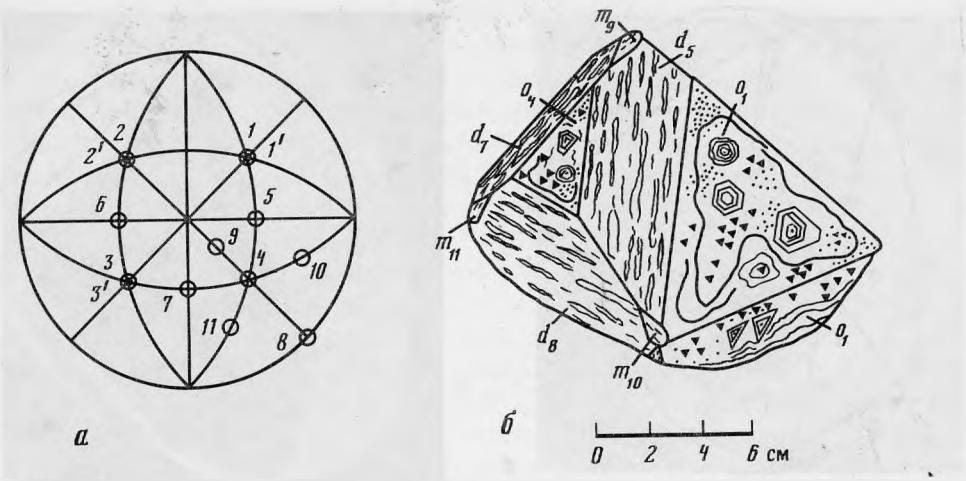
д



Р и с. 2. Двойники шпинели

а,б - ростовые, увел. 28 и 24 соответственно; в,г - механические, увел. 25 и 23; д - смешанный, увел. 20. На рисунках, выполненных с фотографий, пунктиром обозначены двойниковые границы

ра полностью регенерирована (на стереографической проекции это была бы грань 4), грани I , 2 , 3 регенерированы частично. Фигуры травления на гранях октаэдра - острые треугольные и тупые шестиугольные вогнутые пирамидки, на гранях ромбододекаэдра - вытянутые вдоль ребер пересечения с октаэдром неглубокие желобки, грани тетрагонтриоктаэдра имеют поверхность, сходную с ромбододекаэдром. Со стороны регенерированной грани октаэдра шпинели видна узкая полоска механического двойникования. С поверхности она имеет ширину 2-3 мм, протяженность 5-6 см и похожа на двойниковые зоны, изображенные на рис. 2,в. Распространение двойникования на весь кристалл ограничено трещинами. Можно предположить, что эта двойниковая область возникла при растрескивании кристалла.



Р и с. 3. Стереографическая проекция (а) и внешний вид (б) уникального кристалла шпинели

Грани октаэдра $o\{111\}$ - 1, 2, 3, 4, 1', 2', 3': грани ромбододекаэдра $d\{110\}$ - 5, 6, 7, 8; грани тетрагонтриоктаэдра $m\{113\}$ - 9, 10, 11

Авторы выражают признательность руководству организации "Экспортквардсамоцветы" и надеются, что этот кристалл займет достойное место в одном из музеев нашей страны.

Л и т е р а т у р а

1. Г р и г о р ь е в Д.П., Ж а б и н А.Г. Онтогения минералов: Индивиды. М.: Наука, 1975. 338 с.

2. К и с е л е в В.И., Б у д а н о в В.И. Месторождение Кухилал // Месторождения докембрийской магнезиально-скарновой формации Юго-Западного Памира. Душанбе: Дониш, 1986. С. 64-107.

3. К о л е с н и к о в а Т.А. Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // Драгоценные и цветные камни. М.: Наука, 1980. С. 181-189.

4. Ч е с н о к о в Б.В. К вопросу об отличии первичных и механических полисинтетических двойников // Онтогенические методы изучения минералов. М.: Наука, 1970.

5. Я к о в л е в с к а я Т.А. Шпинель // Минералы. М.: Наука, 1967. Т. 2, вып. 3. С. 24-33.

6. G o l d s c h m i d t V. Atlas der Kristallformen. 1922. Bd.8. S. 70-72.

УДК 549.6

В.Ю.Карпенко, К.И.Игнатенко

БАБИНГТОНИТ ИЗ ПЕРВОМАЙСКОГО КАРЬЕРА В КРЫМУ

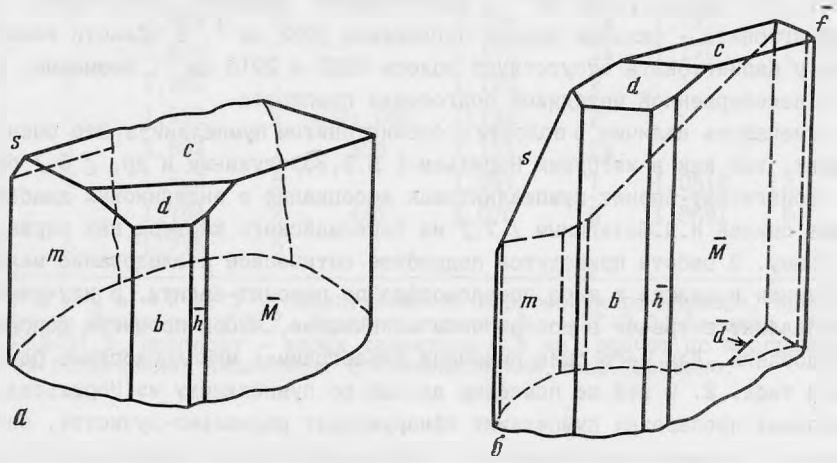
Первомайский карьер близ с. Скалистого (район Симферополя) - минералогически очень интересный объект. Однако ему посвящены всего две работы: это описание пумпеллиита [7] и датолита [4]. В них также отмечаются апофиллит, пренит, актинолит, альбит, кальцит, хлорит.

Карьер заложен на лакколитовом теле диорит-порфирита, прорывающем толщу аргиллитов таврической серии (T_3-J_2). Размеры тела в поперечнике около 70 м.

Здесь часто встречаются пустоты, минерализация в которых представляет особый интерес. Летом 1987 г. В.Ю.Карпенко здесь были обнаружены небольшие полости, выполненные, кроме упомянутых выше минералов, окенитом, ломонтитом, анальцимом, гмелинитом, гиролитом и бабингтонитом. Последний является довольно редким силикатом. Он часто встречается в геологической обстановке, сходной с Первомайским карьером. Это обычно полости, возникшие в результате метасоматоза в диоритах, гранодиоритах и выполненные цеолитами, пренитом, датолитом, кварцем, кальцитом. Они описаны, например, на месторождении Холиок [10] и в Блуберри Маунтинз [12], штат Массачусетс, США; в интрузии Норильск-1 [6].

В Первомайском карьере бабингтонит был встречен в одной из полостей размером ~15x20 см. Полость окружена светлой альбитизированной оторочкой. Минерал образует здесь сростки черных блестящих кристаллов. Они хорошо образованы, некоторые слабо расщеплены, с блочными гранями. Размер кристаллов до 3 мм. Бабингтонит находится в тесном срастании с пренитом и пумпеллиитом. Пренит здесь встречен в виде сферокристаллов до 5 мм светло-зеленого либо сероватого цвета. Промежутки между сростками этих минералов заполнены радиально-лучистыми выделениями ломонтита. На пренте и бабингтоните пумпеллиит образует сростки сферолитов размером до 1 мм. На некоторые кристаллы бабингтонита нарастает кальцит. Диагностика всех минералов, отмеченных выше, была подтверждена рентгенометрически.

Несколько хорошо ограненных кристаллов бабингтонита было измерено на двукружном гониометре Чапского. Часть кристаллов взята из образца, переданного А.Донатом (студентом МГРИ), который тоже обнаружил этот минерал во время летней практики. Для улучшения качества сигналов от граней кристаллы напылялись алюминием в вакуумном распылителе. По результатам гониометрических исследований были выявлены следующие простые формы: c $\{00\bar{1}\}$, d $\{0\bar{1}1\}$, m $\{1\bar{1}0\}$, M $\{1\bar{1}\bar{1}0\}$, b $\{0\bar{1}0\}$ - наиболее развитые, h $\{1\bar{2}\bar{1}0\}$, f $\{2\bar{1}\bar{1}0\}$, s $\{1\bar{1}\bar{1}1\}$ - менее развитые. Основные морфологические типы кристаллов приведены на рис. 1. Иногда грань s($1\bar{1}\bar{1}$) также оказывается хорошо развитой (см.рис. 1,б). Буквенные обозначения и индексы соответствуют установке по Ричмонду [11].



Р и с. 1. Морфологические типы кристаллов бабингтонита из Первомайского карьера

а - с хорошо развитой гранью c(00$\bar{1}$); б - с развитой гранью s($1\bar{1}\bar{1}$)

Химический состав бабингтонита изучался на рентгеновском микроанализаторе "Camebax-Microbeam" К.И.Игнатенко в ГЕОХИ. Кристаллохимическая формула минерала следующая: $(Ca_{3,98}Na_{0,02})_{4,00}(Fe^{2+}_{1,19}Mn_{0,40}Mg_{0,40})_{1,99}(Fe^{3+}_{1,79}Al_{0,20})_{1,99}(Si_{9,84}Al_{0,16})_{10,0}O_{28,88}OH_{1,12}$. Расчет производился на 4 атома (Ca+Na). Следует отметить довольно высокое содержание магния в минерале. Для бабингтонита это не частое явление. Магнистые разновидности его отмечены, однако, в Девоншире, Англия [5], и в Филине, Италия [9]. В бабингтонитах интерес представляет также содержание Mn, поскольку возможно замещение Fe^{2+} на Mn с образованием самостоятельного манганбабингтонита [1,2]. Здесь, правда, содержание его невелико и является обычным для бабингтонитов. Химический состав его по данным микрозондового анализа ("Camebax-Microbeam", I5 кВ, ток зонда 30 нА, стандарт - пироксен II250 (Смитсон, США), расчет с использованием ZAF-коррекции; аналитик К.И.Игнатенко, ГЕОХИ): SiO_2 - 52,0 мас.%; Al_2O_3 - I,62; $FeO+Fe_2O_3$ - I8,9; MnO - 2,5I; MgO - I,4I; CaO - I9,6; Na_2O - 0,06; сумма - 96,I0 мас.%. Na и Mg определялись в ИМГРЭ; условия съемки: микроанализатор "Cameka",20 кВ, ток зонда 20 нА, стандарты: Na -альбит, Mg-голубой диопсид; аналитик О.Георгиевская.

Межплоскостные расстояния минерала даны в табл. I. Для сравнения помещены значения для бабингтонита из Норильска по данным М.П.Габинет и Э.Н.Елисеева [3].

Оптические свойства изучались в иммерсионных препаратах. Минерал двуосный, положительный, 2V около 80°, обнаруживает сильный плеохроизм: по Np - голубовато-зеленый, по Nm - розовато-коричневый, по Ng - коричневый. Показатели преломления: n_p = I,7I5(I), n_m = I,728(I), n_g = I,748(2).

На приборе UR-20 в Институте минералогии (г.Миасс) были получены ИК-спектры минерала. Данных по ИК-спектрам чистого бабингтонита в литературе не приводится. Имеются лишь данные по манганбабингтониту с месторождения Рудный Каскад [I]. Оба ИК-спектра представлены на рис. 2. В целом они схожи, за исключением некоторых отличий в области I000-I050 $см^{-I}$. Так, для частоты I048 $см^{-I}$ у бабингтонита наблюдается сильная полоса поглощения, у манганбабингтонита - лишь плечо. Для частоты I030 $см^{-I}$ у бабингтонита, наоборот, лишь плечо, а у манганбабингтонита - сильная полоса поглощения I033 $см^{-I}$. В области колебаний OH-группы у бабингтонита отсутствуют полосы 2860 и 29I0 $см^{-I}$. Возможно, это связано с несовершенной методикой подготовки препарата.

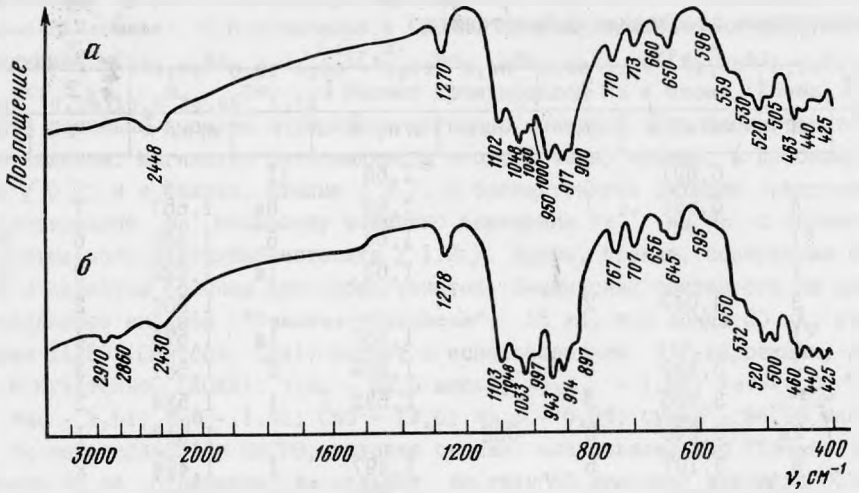
Выше отмечалось наличие в полости с бабингтонитом пумпеллиита. Это очень интересный факт, так как в интрузии Норильск-I В.В.Золотухиным и др. [6] была описана бабингтонит-пренит-пумпеллиитовая ассоциация в андезиновых диабазах. Пумпеллиит описан Н.Н.Шатагиным [7] из Первомайского карьера как первая находка в Крыму. В работе приводится подробное оптическое исследование минерала. Он был отмечен в шлифах в виде псевдоморфоз по пижонит-авгиту. В изученной полости пумпеллиит встречен в достаточном количестве, чтобы провести дополнительные исследования. Для него была получена дебаеграмма; межплоскостные расстояния даны в табл. 2. В ней же помещены данные по пумпеллиту из Норильска [6]. В иммерсионных препаратах пумпеллиит обнаруживает радиально-лучистое, сноповидное строение с сильным плеохроизмом от светло-желтого до темно-зеленого цвета. На сканирующем микроскопе "CEMSCAN" с помощью энергодисперсионной приставки "LINK" был изучен качественный состав пумпеллиита. Из энергодисперсионных спектров видно, что этот пумпеллиит является высокожелезистым, содержание маг-

Таблица I

Межплоскостные расстояния бабингтонита

I		2		I			2		
d/n, Å	I	d/n, Å	I	hkl	d/n, Å	I	d/n, Å	I	hkl
		6,89I	I		I,68	<I			
6,6	4	6,58I	I		I,66	6ш	I,657	7	
4,6	<I				I,64	6	I,639	6	070
4,3	I				I,63	Iш	I,622	2	004
4,0	3	4,049	2				I,60I	2	
3,79	<I				I,580	Iш	I,578	4	
3,42	4	3,439	4		I,559	2	I,56I	3	
		3,326	3		I,532	I	I,534	2	
3,27	2ш	3,240	3	002			I,5I7	I	
3,08	9	3,I07	5		I,497	I	I,494	2	
2,99	7	3,003	4		I,473	2	I,474	3	
2,9I	I0	2,940	6		I,458	2	I,457	3	
2,86	6	2,873	4	040	I,430	6	I,43I	6	080
2,75	8	2,746	5		I,422	4	I,4I9	4	
2,62	5	2,62I	3		I,406	I	I,40I	2	440
2,5I	I	2,554	3		I,39I	3	I,390	6	
2,47	8	2,468	4	300			I,368	3	
2,44	3	2,438	4		I,32I	3	I,32I	3	
		2,385	2		I,3II	Iш	I,306	2	
2,25	3	2,270	2	050	I,296	Iш	I,296	I	005
2,2I	3ш	2,234	3				I,280	I	
		2,I97	4				I,262	I	
2,I6	8	2,I65	6	003	I,245	Iш	I,243	3	
2,09	I	2,I07	2		I,23I	I	I,232	I	600
2,07	I	2,067	3				I,2I5		
2,03	3	2,024	3		I,I98	Iш	I,I97	I	
		I,992	I		I,I73	Iш	I,I70	I	
I,95	I	I,966	I		I,I20	2			
I,9I	I	I,92I	I	420; 060	I,II2	2			
I,88	I	I,894	I	330	I,I0I	2ш			
I,8I	4	I,806	5		I,09I	I	I,08I6	2	006
		I,764	2	440	I,070	6	I,069I	6	
I,72	5	I,7I5	5						

Примечание. I - бабингтонит из Первомайского карьера, Крым; 2 - бабингтонит из Норильска [3]. Условия съемки: I - УРС-2,0; Fe-анод, Mn-фильтр, камера РКД-57,3; препарат - шарик диаметром 0,5 мм, расчет по программе с поправкой на поглощение. Аналитики: Д.И.Белаковский, В.Ю.Карпенко.



Р и с. 2. Инфракрасные спектры

а - бабингтонит с Первомайского карьера; условия съемки: UR-20, препарат из спиртовой суспензии, нанесенной на таблетку KBr, аналитик Л.П.Арзамасцева; б - манганбабингтонит с месторождения Рудный Каскад [I]

Т а б л и ц а 2

Межплоскостные расстояния железистого пумпеллиита

I		2		I		2	
d/n, Å	I	d/n, Å	I	d/n, Å	I	d/n, Å	I
4,7	9	4,76	30	2,20	7ш	2,22	36
4,4	I	4,43	27	2,I4	4ш	2,II	23
3,98	<I			2,07	4ш		
3,75	8	3,79	64	2,00	3		
3,45	2	3,47	I6	I,93	I		
3,23	4	3,34	I6	I,87	5ш		
3,03	3			I,72	5ш		
2,92	I0	2,9I	I00	I,670	3		
2,84	<I			I,640	3		
2,74	9	2,75	60	I,6I0	8	I,607	25
2,65	6	2,66	34	I,570	5		
2,55	8	2,56	8	I,520	I		
2,47	8	2,47	27	I,500	5		
2,34	6ш	2,34	20	I,460	4		
2,29	I						

П р и м е ч а н и е. I - пумпеллиит из Первомайского карьера, Крым. Условия съемки те же, что в табл. I; аналитик Д.И.Белаковский; 2 - пумпеллиит из Норильска [6].

ния в нем очень мало, марганец не зафиксирован. По современной классификации [8] его следует называть пумпеллиит-(Fe^{2+}). Интересно, что в Норильске пумпеллиит тоже высокожелезистый [6], содержание MgO в нем 1,02%, MnO - 0,05%.

Если проанализировать изложенные выше факты, то обнаруживается большое сходство между описанной ассоциацией и ассоциацией, обнаруженной в Норильске, в которую кроме бабингтонита, пренита и пумпеллиита, входят еще кальцит, пирит и клинопироксен ряда диопсид-геденбергит. При просмотре образцов из других полостей Первомайского карьера были обнаружены сферолиты пумпеллиита вместе с апофиллитом, на сферолиты нарастали мелкие кристаллы пирита. В другом образце со сферокристаллами пренита наблюдались игольчатые кристаллы какого-то пироксена. Поэтому можно предположить, что описанная выше ассоциация на Первомайском карьере возникла в условиях, очень близких к таковым в Норильске. В.В.Золотухин с соавторами [6] доказывают на основании физико-химических данных, что эта ассоциация является парагенетической и возникла в ходе среднетемпературной метасоматической стадии.

Один из образцов с описанным бабингтонитом, а также образцы из других полостей Первомайского карьера были переданы в Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского (бывший музей МГРИ). Авторы выражают благодарность Д.И.Белаковскому за помощь в выполнении анализов, Л.А.Паутову, Д.В.Абрамову за обсуждение статьи, А.Донату за предоставленные кристаллы.

Литература

1. Виноградова Р.А., Плюснина И.И. Состав, свойства и кристаллохимические особенности минералов изоморфного ряда ферробабингтонит-манганбабингтонит // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1967. № 4. С. 54-67.

2. Виноградова Р.А., Сычкова В.А., Кабалов Ю.К. Марганцевый бабингтонит из месторождения Рудный Каскад (Восточный Саян) // Докл. АН СССР. 1966. Т. 169, № 2. С. 434-437.

3. Габинет М.П., Елисеев Э.Н. О бабингтоните // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1962. № 16. С. 430-436.

4. Гетлинг Р.В. Датолит района р. Бодрак в Крыму и особенности его генезиса // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. 1960. Т. 89, № 1. С. 102-106.

5. Дэна Э.С. Система минералогии. М.: Изд-во иностр. лит., 1937.

6. Золотухин В.В. и др. Бабингтонит-пренит-пумпеллиитовая парагенетическая ассоциация в метасоматитах Норильска // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, 1967. С. 218-251.

7. Шатагин Н.Н. Пумпеллиит из Бахчисарайского района Крыма // Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология. 1964. № 4. С. 68-71.

8. Fleisher M. Glossary mineral species, 5 th ed. Tucson: Miner. Rec. Inc, 1987. 234 p.

9. Franzini M., Leoni L., Meclini M., Orlandi P. The babingtonite of Figline (Prato), Italy // Rend. Soc. ital. miner. et petrol. 1978. Vol. 34, N 1. P 45-50.

10. Palache C., Gonyer F. On babingtonite // Amer. Miner. 1932. Vol. 17, N 7. P. 295.

11. Richmond W.E. On babingtonite // Ibid. 1937. Vol. 22, N 5. P. 630.

12. Richmond W.E. Paragenesis of the minerals from Blueberry Mountains, Woburn, Massachusets // Ibid. Vol. 22. N 4. P. 290-300.

УДК 549.5

Л.А.Паутов, П.В.Хворов, К.И.Игнатенко

ПЕРВАЯ НАХОДКА МАНГАНОЗИТА В СРЕДНЕЙ АЗИИ

Манганозит MnO - довольно редкий минерал, встречающийся в немногих месторождениях, формировавшихся в резко восстановительных условиях [1]. Из зарубежных месторождений известен в Лонгбане, в Нордмарке, в Сью (Швеция), в месторождении Франклин (США), в Гонцен (Швейцария), в Иои, в Фукумаки (Япония) [2, 3]. На территории СССР манганозит отмечен в рудах Никопольского месторождения [4]. Н.И.Потконен [2] описал манганозит в виде зерен размером до 0,01 мм в гаусманите в рудах Порожинского месторождения на Енисейском кряже. Однако размер выделений минерала не позволил авторам относительно полно его изучить. В работе приводятся только данные о микродифракции, морфологии зерен по репликам на электронном микроскопе и визуально наблюдаемые признаки минерала в полированном шлифе. Образцы манганозита из отечественных месторождений отсутствуют в крупнейших коллекциях страны: в Минералогическом музее им. А.Е.Ферсмана АН СССР, в Музее ЛГИ, в Государственном геологическом музее им. В.И.Вернадского. Сведения о манганозите малочисленны или отсутствуют в справочниках и определителях рудных минералов.

Манганозит нами был обнаружен осенью 1989 г. в свалах родонит-тефроит-кварцевой породы из родонитового проявления на северном склоне хр. Инышчек (Юго-Восточный Тянь-Шань, Киргизия). Проявление расположено в экзоконтакте Инышчекского гранитного массива и характеризуется богатой и сложной ассоциацией минералов марганца, бария, титана, олова, вольфрама и бериллия.

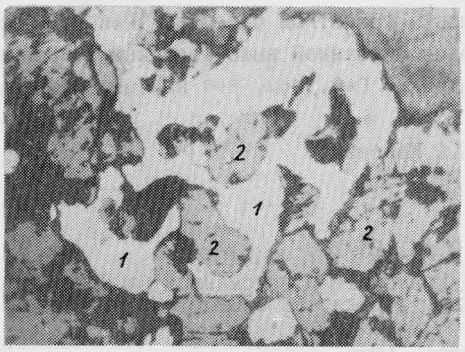
Манганозит образует в родоните изометричные агрегаты с тефроитом, пирохроитом, размером до 15 мм в поперечнике. В полированном шлифе хорошо видно, что манганозит выполняет интерстиции между округлыми зернами тефроита (рис. 1). Размер выделений манганозита колеблется от 0,2 до 2,0 мм. По краям зерен манганозита, как правило, развита кайма пирохроита (диагностирован по порошкограмме). В тефроите, реже в манганозите наблюдаются мелкие (до 1 мм) округлые зерна пирофанита (диаг-

Таблица 1

Химический состав (в мас.%) манганозита и находящегося с ним в срастании тефроита

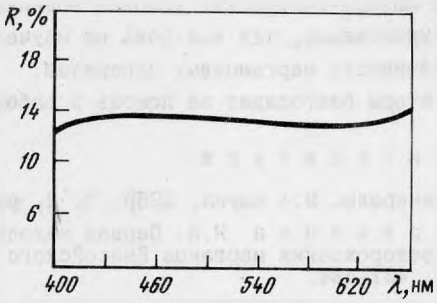
Оксиды	Манганозит		Тефроит
SiO_2	-	-	29,33
MgO	0,01	-	0,16
MnO	98,56	99,09	70,02
FeO	1,60	1,60	0,29
Al_2O_3	-	-	0,21
TiO_2	-	-	0,02
CaO	-	-	0,04
ZnO	0,07	0,07	-
Сумма	100,24	100,76	100,07

Примечание. Условия анализа: ускоряющее напряжение 15 кВ, ток зонда 30 нА. Образцы сравнения - пироксен, пирофанит. Обсчет полученных результатов проводился с использованием стандартной методики ZAF-коррекции. Аналитик К.И.Игнатенко.



Р и с. I. Манганозит (I) в интерстициях между зернами тефроита (2)

Черное - пирохроит. Полированный шлиф. Увел. 45



Р и с. 2. Спектр отражения манганозита из Киргизии. Эталон - кремний (аналитик П.В.Хворов)

ностирован по микротвердости, спектру отражения и отчетливой анизотропии). В свежем сколе манганозит имеет насыщенный изумрудно-зеленый цвет. Блеск стеклянный. Минерал прозрачный. С периферии зерна часто окружены черной или бурой пленкой. При растирании минерала образуется коричневый порошок. В иммерсионном препарате манганозит изотропен, показатель преломления намного выше I,87. В отраженном свете минерал серый с изумрудно-зелеными внутренними рефлексами. Изотропный. Микротвердость его, измеренная на приборе ПМТ-3 (тарированном по NaCl) при нагрузке 80 г, колеблется от 266 до 306, при среднем значении VHN 282 (по 5 замерам). Спектр отражения, снятый на приборе, собранном на основе ПООС-I, приведен на рис. 2. Химический состав манганозита изучался на рентгеновском микроанализаторе "Camebax-microbeam" и приведен в табл. I. Порошкограмма манганозита близка к эталонной (табл. 2). Изученные образцы манганозита переданы в музей Ильменского заповедника.

Возможной реакцией образования манганозита явилась декарбонатизация родохрозита при низкой фигуративности кислорода при термальном метаморфизме карбонат-

Таблица 2

Рентгеновские порошковые данные для манганозита

хр. Иныльчек		DCPDS 7-230		
d/n	I	d/n	I	hkl
2,57	8	2,568	60	III
2,22	I0	2,223	I00	200
I,569	9	I,57I	60	220
I,336	6	I,340	20	3II
I,282	7	I,283	I4	222
I,I09	4ш	I,III2	I2	400
I,0I9	3ш	I,0I98	I0	33I
0,993	7о.ш	0,9938	I8	420

Примечание. Условия съемки: РКД-57,3 мм, УРС-55, Fe-анод, марганцевый фильтр, препарат - резиновый шарик диаметром 0,3 мм. Введены поправки на поглощение и диаметр камеры. Аналитик П.В.Хворов.

кремнистых осадков на контакте с Иныльчекским гранитным массивом. Реконструировать физико-химические условия возникновения описанной выше ассоциации крайне затруднительно, так как пока не изучено влияние FeO, MgO, CaO на относительную устойчивость марганцевых минералов.

Авторы благодарят за помощь в работе В.Ю.Карпенко.

Литература

1. Минералы. М.: Наука, 1965. Т. 2, вып. 2. С. 23-25.
2. Потконен Н.И. Первая находка манганозита и гаусманита на Порожинском месторождении марганца Енисейского кряжа // Докл. АН СССР. 1985. Т. 285, № 2. С. 431-434.
3. Рой С. Месторождения марганца. М.: Мир, 1986. 520 с.
4. Widerco M. Sclad mineralny iwlasnosci metallurgiczne sbiercow manganowych wykonanych z rudy Nicopolskiej // Pr. miner. 1983. N 74. S. 35-42.

УДК 549.091

Б.З.Кантор

СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ РАСЩЕПЛЕННЫЕ КРИСТАЛЛЫ[1]

Принято считать, что минералы вечны, инертны и безжизненны. В пример нередко приводят драгоценные камни, и действительно, мы не замечаем в них перемен на протяжении целых исторических эпох.

Так мы видим вещи в привычном нам масштабе времени, в котором живем сами. Но наблюдаемая жизнь минералов - в коллекциях, украшениях и во всем, к чему приложил руку человек, - лишь ничтожная частичка их истории. И как только, призвав на помощь воображение, мы начинаем листать ее страницы, картина неузнаваемо изменяется. Минералы, оказывается, тоже "живут" и даже изобретательно приспосабливаются к условиям жизни, внушая парадоксальную аналогию с живыми организмами. Об одном таком примере мы расскажем.

Линия жизни

История минерального индивида всегда начинается стадией роста. Крохотный, невидимый даже в сильный микроскоп кристаллический зародыш присоединяет к себе частички вещества из питающей его среды и увеличивается в размерах; проходит время - он вырастает в полновесный кристалл, а случается - и в многотонный гигант. Наряду с типичным обликом кальцита, граната или другого минерала он непременно обзаводится и отличающими его от собратьев того же названия индивидуальными чертами. Они формируются под влиянием конкретных условий развития: концентрации, температуры, давления, состава питающей среды, направления ее движения и даже "позы" самого кристалла - вверх, вниз или вбок растущим концом.

За всем этим угадывается закономерность и некая цель. Но какая? Строгая и точная наука - физика - отвечает: обеспечение минимума свободной энергии. Обсуждение этого непростого вопроса заняло бы целую книгу; мы ограничимся замечанием, что речь идет о фундаментальном принципе устройства природы, и поясним его на интересующем нас примере - росте кристалла.

Свободная энергия в нашем случае - это энергия нескомпенсированных межатомных связей, а носители ее - те частички вещества, которые хаотически разбросаны в питающем растворе и которым предстоит объединиться в регулярной и плотной упаковке кристалла. Имеется существенная разница между частицами, которые в процессе кристаллизации перекрываются другими частицами и оказываются внутри кристалла, и те-

[1] С работы Б.З.Кантора мы начинаем публиковать статьи, интересные для любителей-коллекционеров минералов и написанные ими.

ми, что присоединяются к нему в последнюю очередь и остаются, таким образом, на поверхности. В объеме кристалла каждая частица окружена другими, и связи взаимно компенсированы. На поверхности же связи компенсированы только с внутренней стороны, и поверхность остается, таким образом, носителем свободной энергии. С ростом кристалла его поверхность увеличивается, но объем увеличивается быстрее. В итоге получается энергетический выигрыш - именно он и служит стимулом кристаллизации.

Но поверхность поверхности рознь, в зависимости от формы кристалла. Чтобы энергетический выигрыш был максимальным, кристалл стремится обрести наиболее компактную форму с минимальной поверхностью. Это, между прочим, и есть физическая подоплека той "целесообразности" в кристаллах, которую мы интуитивно воспринимаем как красоту.

Но в определенных обстоятельствах возникает конкурентная тенденция, вызванная наличием в кристалле еще одного носителя свободной энергии. Это - многочисленные внутренние дефекты кристалла: оставшиеся пустыми узлы кристаллической решетки, внедрившиеся в нее посторонние и лишние атомы, дислокации и другие нарушения правильности решетки. Подобные случайные "ошибки" кристаллизации неизбежно появляются при построении всех реальных кристаллических структур. Особенно много дефектов возникает при быстром росте: кристалл буквально нашпигован ими. И тогда кристалл частично жертвует компактностью, чтобы избавиться таким способом от части внутренних дефектов. Результат компромисса - опять-таки энергетический выигрыш.

Познакомившись с возникшими при этом любопытными кристаллическими постройками, мы должны будем признать, что красоте кристаллов упомянутый компромисс совсем не повредил. А это верный признак того, что природа и на сей раз поступила самым целесообразным способом.

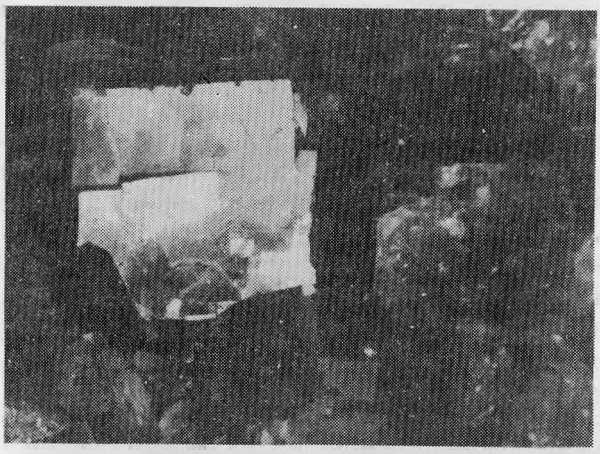
Способ поведения

Как же реализуется компромисс? Для этого кристалл в процессе роста расщепляется на так называемые субиндивиды.

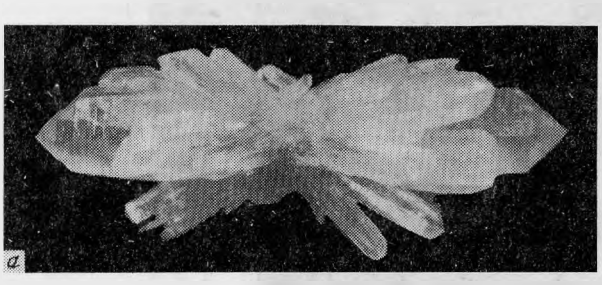
В начале расщепленного роста кристаллическая структура разделяется скоплениями дефектов на отдельные блоки, чуть-чуть разориентированные относительно друг друга. По мере роста они также в свою очередь расщепляются, порождая блоки новых поколений, разориентировка нарастает и в конце концов становится заметной на глаз. Расколем пополам кристалл галенита или флюорита. В середине мы увидим идеальную спайную плоскость, а ближе к периферии - угловатый рельеф, напоминающий расшатанный паркет. Похожий узор из субиндивидов очень часто можно видеть и на гранях этих кристаллов. Одним краем субиндивид несколько приподнимается над гранью. Другого же края просто нет - с этой стороны субиндивид сливается с гранью, не образуя замкнутой границы (рис. I).

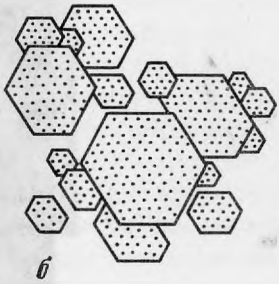
Галенит, флюорит растут и расщепляются примерно одинаково по всем направлениям. Иначе ведут себя кристаллы удлиненного облика, растущие преимущественно в одном направлении. Расщепление наиболее интенсивно идет на растущем конце - "головке", которая может расщепляться в "пучок" субиндивидов. Таковы "пучки" кварца, встречающиеся на многих месторождениях. Когда кристаллу выпадает возможность расти сразу обоими концами, расщепление тоже идет на обоих концах и вместо пучка получается "сноповидный сросток" (рис. 2,а). Заметим, что последнее название не совсем удачно: расщепленный кристалл получается вовсе не "срастанием" нескольких индивидов, а, наоборот, разрастанием единственного.

Когда кристалл интенсивно расщепляется в течение всего процесса роста, вместо "снопа" получается сферокристалл с характерной фигурой "двулистника" (рис. 3).

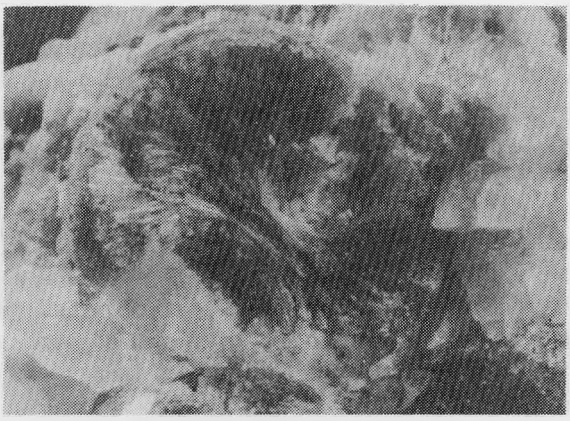


Р и с. I. Субиндивид на грани куба флюорита





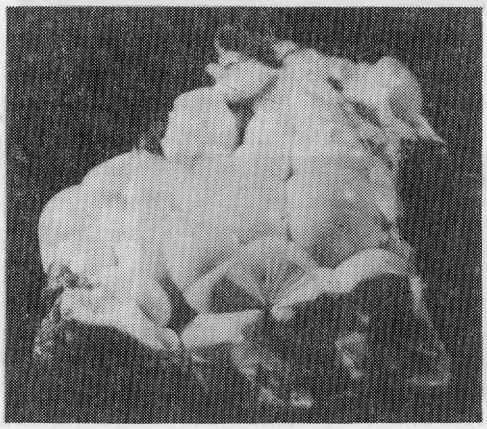
Р и с. 2. Сноповидный сросток кварца. Длина 5,5 см. Дашкесан, АзССР
а - общий вид; б - поперечное сечение



Р и с. 3. "Двулистник" стильбита. Длина 3 см.
Сарбайское месторождение, КазССР

В то же время нормальный рост на расщепленной затравке приводит к образованию сферолита, сложенного тонкими радиальными волокнами. Сферолиты с гладкой, блестящей почковидной поверхностью (рис. 4) в старину называли "стеклянными головами". Такое строение свойственно поделочному малахиту, некоторым разностям гётита, гематита и др.

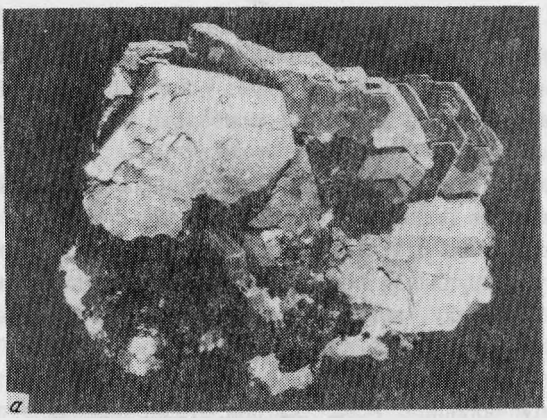
Едва ли не самые эффектные формы расщепленного роста - розы. В них субиндивиды располагаются, обычно на грани пинакоида, наподобие развернутой карточной колоды. Название пошло от знаменитых альпийских "железных роз" - расщепленных кристаллов гематита, формой действительно напоминающих царственный цветок. Сами "железные розы" давно стали редкой коллекционерской экзотикой. Однако такая же форма расщепления свойственна бариту, азуриту, гейландиту, полевым шпатам, корунду и ряду других минералов (рис. 5). Конечно, совершенно неправильно применять это название к друзовым сросткам пластинчатых кристаллов, расположение которых случайно напоминает розу.



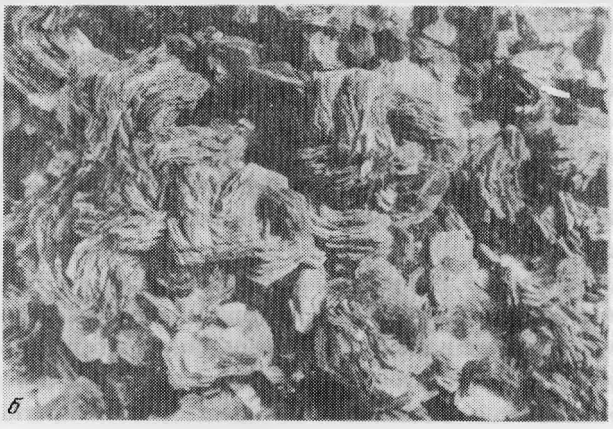
Р и с. 4. Сферолиты пренита. Диаметр сферолитов до I см. Эвенкия

Расщепление может происходить и без обособления субиндивидов. Кристалл сохраняет монолитность, но выглядит необычно: ромбоэдры доломита, магнезита, кубики пирита напоминают седло (рис. 6), кристалл кварца закручивается пропеллером, слюды образуют скорлуповатые "глазки". В конце концов противоположные края развертываются навстречу друг другу и смыкаются. Подобные образования также должны быть отнесены к сферокристаллам.

Не следует думать, что все это свойственно только названным минералам. Особенности некоторых кристаллических структур создают предпосылки для расщепления, в то же время само явление расщепления - особенность процесса кристаллизации в определенных условиях. Правда, некоторые минералы и образуются чаще всего именно в таких условиях, что дает основание считать их "типично" расщепляющимися и даже использовать расщепление как диагностический признак (например, для стильбита или малахита). Но в принципе расщепляться могут любые кристаллы. Разве не заманчиво собрать толковую коллекцию этих истинных украшений минерального царства, представляющих большой интерес и для науки! Но для этого, конечно, надо иметь представление о "механике" расщепления, его закономерностях и признаках.



а



б

Р и с. 5. Розы

а - начальная фаза расщепления розой на пинакоиде пирротина. Размер 9х7,5 см. Николаевский рудник, Приморье; б - клинохлор. Размер "роз" до I см. Коршуновское месторождение, Иркутская обл.

Р и с. 6. Седловидные кристаллы пирита. Размер 6х5 см. Калангуй, Читинская обл.

Как это происходит

Итак, расщепление **не что иное**, как динамичная приспособительная реакция кристалла на те условия развития, которые провоцируют обилие структурных дефектов. Насколько закономерно возникновение дефектов, настолько же закономерно и расщепление.

Как упоминалось, расщепление начинается с блокования структуры. При дальнейшем росте и накоплении дефектов рано или поздно находится повод для обособления субиндивида. Таким поводом обычно служит взаимодействие с препятствием - соседним кристаллом, стенкой полости, крупинкой посторонней примеси. Упершись в препятствие или облекая примесную частичку, кристалл испытывает механические напряжения, которые способствуют размножению дефектов и одновременно "сгоняют" их в одну зону. Концентрация дефектов приводит к грубому блокованию, а это, как мы видели, и есть в сущности отделение субиндивида. Кристалл при этом освобождается от заметной доли дефектов: они выходят на поверхность и тем самым прекращают существование, отдавая энергию. Нечто подобное происходит, конечно, в несравненно больших масштабах, при ковке и прокатке металла. В дальнейшем внешний повод уже не нужен: процесс становится автономным, так как отложение вещества в зазоре между кристаллом и субиндивидом создает расклинивающее усилие и новые напряжения в основании субиндивида, что ведет к обособлению следующих субиндивидов, и т.д.

Обнаружившие механизм расщепления ленинградские ученые Ю.Н.Пунин, Т.П.Ульянова и др. наблюдали в опытах по искусственной кристаллизации одну важную закономерность. По мере снижения концентрации раствора рост кристаллов замедлялся и расщепление, естественно, тоже. А при некоторой достаточно низкой - "критической" - концентрации обособление субиндивидов прекращалось совсем, хотя раствор все еще оставался пересыщенным и рост, таким образом, продолжался. Возможно, здесь кроется по крайней мере одна из причин того, что кристалл может в одной фазе роста расщепляться, а в другой - нет.

Познакомившись с теорией, предпримем теперь маленькое самостоятельное исследование. Оно будет чисто "любительским" - не потребует никаких специальных приборов. Понадобятся лишь 7-10-кратная лупа и кусочки минералов, не обязательно качественные коллекционные экспонаты.

Начнем с расщепленного кристалла кварца вроде того, что показан на рис. 2,а. Хорошенько рассмотрим его в лупу. Обратим внимание, что, во-первых, субиндивиды расположены только вокруг того места, откуда начался рост - "центра роста". Во-вторых, каждый субиндивид выглядит как нормальный нерасщепленный кристалл. В-третьих, и основной кристалл, и субиндивиды вблизи центра роста мутны, тогда как головки их совсем прозрачны - настоящий горный хрусталь. Прозрачность - признак относительного совершенства кристалла, что могло быть следствием медленного роста. Непрозрачность же, наоборот, говорит о быстром росте и насыщенности включениями и дефектами. Из всего этого мы можем заключить, что кристалл, вероятно, начал расти в быстром темпе и вначале интенсивно расщеплялся, но затем рост замедлился, а видимое расщепление прекратилось. Мы можем догадываться, что вначале питающий раствор был сильно пересыщен, впоследствии же пересыщение стало ниже критического.

Займемся теперь излюбленным объектом собирательства - агатами. Как известно, агат - это поделочный камень, сложенный главным образом сферолитовыми корками халцедона, обязанными своим происхождением, очевидно, нарастанию на расщепленные затравки волокнистых кристалликов кварца. Окраска его большей частью обус-

ловлена включениями оксидов железа и органических веществ; некоторые включения мы в нашу лупу сможем разглядеть. Очевидно, кристаллизация шла из весьма концентрированных по отношению к SiO_2 растворов, содержавших также примеси, и это способствовало интенсивному расщеплению. С истощением растворов, если к тому времени в полости еще оставалось место, халцедон должен был смениться кристаллическим кварцем. Вследствие упомянутой критичности смена должна была произойти резко, а не постепенно. И действительно, ядро агата, кристаллизовавшееся в последнюю очередь, нередко заполнено друзовым агрегатом кварца, отчетливо отграниченным от подстилающего его халцедона.

Подведем итог. Расщепленные кристаллы не просто радуют глаз "железными розами", шелковым блеском малахита, снопами стильбита, они рассказывают нам свои биографии. Минералогу-профессионалу они подскажут, как лучше распорядиться арсеналом исследовательских средств, чтобы направить исследование в нужную сторону. А любитель минералов представит цепочку событий, конечный результат которых он хранит в своей коллекции - загадочное, хотя теперь и уже чуть-чуть понятное, прекрасное произведение природы.

Научимся замечать и распознавать расщепленные кристаллы. Главное их отличие от сростков и других кристаллических агрегатов - закономерное, а не хаотическое расположение субиндивидов. Внимательно рассмотрим пучок или сноп кварца, повернув его к себе головкой. Мы увидим правильную "кристаллическую семью", в поперечном сечении напоминающую аккуратную мозаику из шестиугольников, выложенных строго параллельно друг другу (рис. 2,б). В обычном сростке так не бывает. И еще: сравнивая расщепленные и нерасщепленные кристаллы одного минерала, мы заметим в них одинаковые элементы симметрии. Кристалл призматического облика с единственной главной осью симметрии расщепляется в пространственный пучок с осью того же порядка, как в только что рассмотренном примере с кварцем. Но если в направлении преимущественного роста имеется только ось 2-го порядка или плоскость симметрии, то и пучок будет уплощенным или совсем плоским, веерообразным; так расщепляются, например, эпидот и гемиморфит. Еще пример: в скрученных кубах пирита (см. рис.6) можно обнаружить тройные оси симметрии, свойственные и нормальным кристаллам. Однако в последних нет осей 4-го порядка - не найдем мы их и в скрученных кристаллах. С другой стороны, те кристаллы кубической сингонии, которые в отличие от пирита имеют оси 4-го порядка (например, галит), не дают скрученных и седловидных форм - наличием таких осей это запрещено.

УДК 549(09)

Н.Ю.Годлевская

МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ ГОДЛЕВСКИЙ

Годлевские относятся к древнему польскому рыцарскому роду. В гербовнике дворянских родов Царства Польского сказано: "Годлевские - фамилия многочисленная, большей частью в прежних землях Нурской и Ломжинской оседлая. Многие из них исправляли разные должности и владели поместьями... Среди них были и владевшие землями и бывшие судьями, скарбниками, послами на Сейме и пр." (перевод с польского). В XVШ в. многие семьи Годлевских разоряются, продают свои земли, поступают служить, уезжают из Польши.

К этим обедневшим родам, видимо, принадлежала семья патриота-повстанца Виктора Игнация Годлевского, его сына Николая и внука Михаила Николаевича. Несмотря на трудную жизнь и даже трагедии, членов этой семьи отличали высокий душевный строй, высокообразованность и тяга к тому, чтобы узнать то, что еще неизвестно. Все эти люди, имеющие разные специальности, были преданы науке и как бы обречены ей.

Общие черты членов этой семьи: честь, чувство собственного достоинства, не изменяющего в самые опасные моменты, неподчинение насилию, добросовестность, преданность своему делу и, безусловно, талантливость.

Обреченность науке - наследственная черта Годлевских, и прежде, чем писать о Михаиле Николаевиче, мне кажется, интересно познакомиться с биографией его деда.

Виктор Игнаций Годлевский родился в 1831 г. в местечке Богуты (Царство Польское). С 1860 г. участвовал в движении польских патриотов, готовивших восстание против царского правительства за независимость Польши, во время восстания был представителем повстанцев в районе Подляшья (среднее течение р.Буг). После разгрома восстания и суда над повстанцами он в числе особо опасных преступников был приговорен в расстрелу с заменой затем приговора ссылкой в Сибирь. С 1864 г. он находится на каторге, на известном со времен декабристов Петровском заводе. В.Годлевский был поражен богатством сибирской природы, особенно разнообразием живущих здесь птиц, неизвестных в Европе, и начал собирать их коллекцию. Так была начата работа по орнитологии, которую он закончил по возвращении в Польшу, сделав чучела сибирских птиц, хранящихся в настоящее время в Варшавском музее. Его именем названы многие новые виды птиц, в том числе известная в Сибири "овсянка Годлевского". Несмотря на яркий талант естествоиспытателя, который был признан всеми окружающими, каторжное начальство не разрешало В.Годлевскому заниматься научной деятельностью и долго держало его на положении рабочего. Сибирское отделение Российского географического общества (СО РГО), а также местные ученые, среди которых было много ссыльных, добились разрешения В.Годлевскому принимать участие в научных изысканиях. С 1865 г. началась его совместная научная работа с Б.Дыбовским в Дарасуне, в Забайкалье. Они вели коллектирование и исследования в Дарасуне, Култуке, на Байкале, в долине р.Иркута, по рекам Онон, Ингода, Аргун, Ганон, Дербул, в Даурии, по Амуру и Уссури и, наконец, по побережью Маньчжурского моря. Проведенные изыскания обратили внимание ученого мира и продолжались в 1869-1871 гг. Они дали обильный материал для всестороннего изучения климата, физиографии и фауны этой местности.

Большое значение имеет работа В.Годлевского и Б.Дыбовского по изучению оз.Байкал. Здесь первостепенное значение имеет та ее часть, которая проделана В.Годлевским. Он сконструировал, а затем сам построил прибор для измерения глубин озера и взятия проб с его дна. Опробовать этот прибор было поистине каторжным трудом, особенно в зимнее время. Они пытались нанять местных крестьян, но те запрашивали такие цены, что приходилось отказываться от их услуг, да и не рисковали местные жители отправляться далеко от берега. Поневоле все работы на озере по прорубке отверстий во льду они вынуждены были производить сами. "Только необыкновенной физической силе Виктора Годлевского, его интенсивному труду, а особенно тому увлечению, с которым было приступлено к исследованию, мы обязаны чрезвычайно обильным результатам", - пишет в своих воспоминаниях Б.Дыбовский [56]. В отчете, который делал правитель дел А.Ф.Усольцев, говорится: "Негостеприимные цены, просимые за квартиру в Акше (предполагаемом центре работ натуралистов), заста-

вили Годлевского расположиться в 12-ти верстах от этой местности, именно в деревне Кирпичной, на Ононе, куда 8 июня отправился Дыбовский", и далее: "Господствующая в Даурии эпидемия, как на людей (кровавый понос), так и на скот (чума), значительно мешали занятиям путешественников". "С утра до вечера посещают меня как местные, так и приезжие пациенты, - пишет Дыбовский консерватору музея Черскому, - или же предлагают самому ехать к пораженным дезинтериею, которая едва не лишила меня такого сотрудника, как Годлевский. Некоторое время я даже сомневался в благополучном исходе его болезни, да и самому мне довелось перенести ее. Эпидемия серьезно взялась за свое дело: из 50-ти посещенных мною умерло 15, а кандидатов на смерть наберется еще почти столько же. Падеж лошадей, в свою очередь, не позволяет нам делать далекие экскурсии из опасения неприятной перекладки тюков на свои плечи. От этого, разумеется, страдают наши коллекторские занятия. Положение дел еще более ухудшилось выпавшими сильными дождями и наступившими затем разливами и наводнениями..." (Изв.Имп. рус. геогр. о-ва. 1873. Т. 4, № 1. С. 2-3). ... Мы почти на острове, - пишет в своем письме Годлевский. - Обстоятельство это замедлило и отсылку заготовленных коллекций, так как перебраться в Акшу не было никакой возможности. Я с грустью посматривал на волнующуюся стихию в том месте, где перед тем оставлен был мною целый скелет волка с целью очистки его посредством гниения в луже. Наверное, он занесен уже песком.

В 1870 г. за эти исследования В.Годлевский и Б.Дыбовский были награждены малыми золотыми медалями Российского географического общества.

Об изучении физической географии и фауны Байкала подробно изложено в отчете Дыбовского и Годлевского "Измерение глубины озера Байкал", составленном в 1871 г., который был прочитан на заседании Распорядительного комитета 9 декабря 1872 г. Этот отчет сохранил свое значение и до сих пор.

Академия наук и Сибирское отделение РГО ходатайствовали об освобождении В.Годлевского и Б.Дыбовского, награжденных золотыми медалями и широко известных за границей своими исследованиями.

Известие о свободе пришло в 1876 г. Они были восстановлены в своих прежних правах и могли уехать из Сибири.

Виктор Годлевский возвратился на родину в возрасте 45 лет. Он поселился в Ломжинской губернии, где приобрел небольшое имение Смолехи. Он мечтал, как пишет в воспоминаниях Б.Дыбовский, "отдохнуть на склоне лет после тяжелой житейской борьбы". Однако вместо отдыха он интенсивно взялся за работу, оставляя лишь свободными минуты для коллектирования местной фауны и собираясь в дальнейшем описать и опубликовать свои наблюдения, но его планам не суждено было осуществиться - 6(19) ноября 1900 г. его не стало.

Отец Михаила Николаевича Николай Годлевский родился в Варшаве, там же получил образование инженера-металлурга. Переехав с семьей в С.-Петербург, он занимал должность военного инженера высокого ранга на одном из петербургских заводов, изготовлявших оружие во время первой мировой войны. В 1917 г. верный данной им присяге, он оказал сопротивление лицам, которые стремились прекратить выпуск оружия на этом заводе, и был убит (или расстрелян?) на месте.

Михаил Николаевич Годлевский родился в Варшаве 27 октября 1902 г.; рос и воспитывался в высокоинтеллектуальной среде.После смерти отца в 1917 г. забота о матери и двух сестрах легла на плечи 15-летнего подростка. В это время он учился в реальном училище, которое окончил в 1919 г. Одновременно работал: зимой - грузчиком в порту, летом - в гидрографических и геологических экспедициях, исследо-

вавших реки Сибири (Лена, Алдан, Ангара). В экспедициях он работал сначала реечником, рабочим, затем чертежником, техником. После окончания реального училища продолжал работать, а в 1922 г. поступил на астрономическое отделение физико-математического факультета Ленинградского университета. Одновременно в свободное от учебы время работал техником на железной дороге, табельщиком, воспитателем в детдоме. Со П курса был отчислен "за социальное происхождение". В 1925 г. поступил в Ленинградский горный институт, также совмещая учебу с работой коллектором, производителем, преподавателем математики. Окончил институт в 1930 г. Его преподавателями в институте были крупнейшие ученые-профессора Н.С.Курнаков, А.Н.Заварицкий, В.Н.Лодочников, А.К.Болдырев. С последним Михаил Николаевич был наиболее тесно связан: в студенческие годы он работал на кафедре кристаллографии и минералогии, возглавлявшейся проф. Болдыревым. Практическая и научная деятельность М.Н.Годлевского также началась еще в студенческие годы. С 1927 г. он приступил к работе в Геолкоме (впоследствии ЦНИГРИ - ВСЕГЕИ). После окончания института Михаил Николаевич был оставлен на кафедре минералогии, где с 1931 по 1938 г. состоял доцентом, одновременно продолжая работать старшим научным сотрудником, а затем руководителем петрографо-минералогической группы ЦНИГРИ - ВСЕГЕИ и научным консультантом Центральной геологической библиотеки.

В первые годы своей деятельности во ВСЕГЕИ М.Н.Годлевский изучал Хоперские (Донские) месторождения бурых железняков, материалы по минералогии которых были опубликованы в трудах ВГРО в 1932 г. [2]. За этой работой последовало изучение месторождений силикатов никеля и поделочных камней на Урале, где Михаилом Николаевичем было открыто новое месторождение пирофиллита [3], описана минералогия Шишимских и Назямских гор, открыт новый минерал айдырлит [4], впоследствии, к сожалению, не подтвержденный в качестве самостоятельного. В 1934 г. была закончена первая часть минералогического описания силикатов никеля в СССР, сохранившаяся в рукописи в фондах ВСЕГЕИ [5].

Материалы оригинальных исследований М.Н.Годлевского вошли в учебные руководства, издаваемые коллективом кафедры минералогии Ленинградского горного института под руководством проф. А.К.Болдырева. Им была написана глава "Окислы и гидроокислы" в учебнике "Курс минералогии", дважды изданном - в 1932 и 1936 гг. [6]. Одновременно с этими работами М.Н.Годлевский публикует первое учебное руководство по кристаллографии "Краткий курс кристаллографии" [7], трижды переиздававшееся с 1932 по 1938 г. и признанное лучшим учебником по кристаллографии. Наконец, будучи консультантом Центральной геологической библиотеки, Михаил Николаевич систематически публикует в "Записках Всероссийского минералогического общества" обзоры литературы по кристаллографии и минералогии и ведет раздел "Успехи минералогии в СССР" [38-42]. Начиная с 1936 г. М.Н.Годлевский исследует месторождения боратов Большой Эмбы - Индерское и др. Он впервые изучает минералогию этих месторождений, описывает минералы калиборит [8], глауберит [10], люнебургит [12] и открывает новые бораты - курнаковит [11] и метагидроборацит [13].

В 1940 г. Михаилом Николаевичем была написана докторская диссертация "Бораты Индерского месторождения". Но защитить он ее не успел: началась война.

В работах Михаила Николаевича, опубликованных в 1936-1941 гг., разработан ряд новых важных закономерностей минералообразования в солевых системах. В 1938-1941 гг. Михаил Николаевич был консультантом Всесоюзного института галургии [19].

В первый (довоенный) период деятельности М.Н.Годлевского уже ярко проявляются в нем черты, характеризующие его как ученого и геолога-практика: пунктуальность,

глубокое знание фундаментальных наук, широкая эрудиция, простота и ясность изложения результатов проделанной работы и постоянная забота о практической пользе исследований. Ему также свойственна постоянная склонность к просветительству. Составление учебных руководств и в дальнейшем займет заметное место в его творчестве.

3 июля 1941 г. Михаил Николаевич был призван в армию и в звании майора командовал расчетом орудия на Ленинградском фронте. В результате одной из сильнейших атак немцев в сентябре 1941 г. дивизия, в которой служил Михаил Николаевич, была окружена и взята в плен. Михаил Николаевич пробыл в лагере военнопленных до 1944 года, и, когда Красная Армия освободила пленных, он был зачислен в 5-ю Гвардейскую дивизию, во второй трофейный батальон. В это время в Германию приехал президент АН СССР Сергей Иванович Вавилов, который назначил М.Н.Годлевского комендантом Цейссовского завода в Иене. В этой должности Михаил Николаевич пробыл год, а тем временем академик С.С.Смирнов усиленно добивался его вызова в Советский Союз для работы по поискам стратегически важного сырья. Эти его действия имели трагические последствия.

22 ноября 1945 г. Михаил Николаевич приехал в Ленинград, прямо с вокзала он отправился во ВСЕГЕИ, а в 12 ч дня был арестован на работе. Следствие велось в "Большом доме" на ул. Воинова. Его заставляли подписать протокол, в котором говорилось, что он немецкий шпион, избивали, заставляли стоять сутки без движения и сна, но все было безрезультатно. Михаил Николаевич ничего не подписал. Однажды во время очередного допроса в кабинет вошел какой-то "высокий чин", внимательно посмотрел на Михаила Николаевича и сказал: "Этого бросьте бить - бесполезно". Тем не менее органам надо было добиться своего и осудить его. Для этой цели они нашли человека, который был с Михаилом Николаевичем в одном лагере военнопленных. Его привлекли к следствию, отчаянно избивали и заставили оговорить Михаила Николаевича и подписать все, что им требовалось. Этого человека не спасло предательство. Его тоже осудили, и, таким образом, оба "проходили по одному делу". Суть оговора состояла в том, что якобы Михаил Николаевич, будучи антисоветски настроенным, сам сдался в плен (вместе с дивизией?), стал шпионом и вернулся, чтобы вести шпионскую деятельность.

В справке Управления КГБ СССР от 22 сентября 1989 г. № 10/38-456 сказано, что "Годлевский Михаил Николаевич арестован 24 ноября 1945 г. Василеостровским РО УКГБ Ленинграда по обвинению в совершении преступления, предусмотренного ст. 58-1"а" УК РСФСР. Военным трибуналом Ленинградского военного округа 4 марта 1946 г. Годлевский М.Н. приговорен к лишению свободы с отбытием в исправительно-трудовых лагерях сроком на 10 лет с последующим поражением в правах на 5 лет, с конфискацией всего лично ему принадлежащего имущества". Михаил Николаевич провел эти 10 лет в концентрационном лагере в Норильске.

Кроме сфальсифицированного свидетеля, из которого так выбивали показания, что довели его до того, что он потерял речь, а когда начал говорить, то заикался, следствие использовало показания секретного сотрудника, имя которого не называлось, но хранилось в секретной папке следственного отдела. Имя этого сотрудника стало известно позже, по ходу следствия, так как следователь передал Михаилу Николаевичу разговоры, которые мог знать только один человек - товарищ Михаила Николаевича по Горному институту, с которым он дружил со студенческих лет до самой войны. Имя этого тайного свидетеля следователь не назвал и очной ставки с ним не дал (эту категорию людей КГБ не выдает, они нужны, и в секретной папке следова-

теля иногда обозначены кодовым названием). Михаил Николаевич уже во время следствия не сомневался в предательстве своего бывшего друга, но имя его не обнародовал, так как имя секретного сотрудника не доказуемо. Однако после освобождения из лагеря, общаясь со многими учеными, Михаил Николаевич прекратил знакомство с предателем, который к тому времени сделал научную карьеру, процветает и сейчас. Во время следствия о Михаиле Николаевиче спрашивали и других его друзей - Владимира Степановича Соболева и Олега Дмитриевича Левицкого. От них пытались получить сведения, компрометирующие Михаила Николаевича, но эта попытка не удалась. Недаром следователь в одной из бесед с подследственным высказался примерно так: Вы, как и ваши друзья Соболев и Левицкий, - одного поля ягода - антисоветчики; зато он называет имя "друга" - достойный человек. Это было единственный раз, когда следователь случайно выдал имя этого человека.

При отправке в Норильск (до Красноярска - по железной дороге) Михаила Николаевича поместили в теплушку с уголовниками. Уголовники сыграли на него в карты, избили и раздели.

Первый год в лагере Михаил Николаевич был помощником забойщика на Кайеркан-ском угольном месторождении. Лев Александрович Савва, бывший тогда главным инженером горнорудного управления, рассказал, как однажды к нему пришел заключенный в рваных опорках на ногах, в драных брюках, надетых на голое тело, без головного убора и сказал, что он изучил систему трещин и что это позволило установить историю геологического развития угольного месторождения и понять, как можно увеличить добычу угля. Его исследования подтвердились, и добыча угля была увеличена. Савва заинтересовался этим заключенным: "Кто ты?" - спросил он. Тот ответил: "Я - ученый из Ленинграда". По проделанной работе Михаил Николаевич написал отчет "Тектоническое строение Кайеркан-ского угольного месторождения" [I4]. Сначала под отчетом была поставлена подпись постороннего человека, так как заключенные в зоне не имели права быть авторами, и только впоследствии на отчете было восстановлено имя М.Н.Годлевского.

Осенью I947 г. на базе ИТЛ Норильлага, состоящего из 24 отделений (по 4-5 тыс. человек в каждом), было решено создать новую формацию в виде шести особлагов со своими номерами и кодовыми названиями. Эта группа лагерей была названа Горлагом и предназначена для обслуживания Горно-металлургического комбината, вернее, его строительства. Михаил Николаевич был переведен в 4-е отделение Горлага. Какое-то время он клал кирпич, участвуя в строительстве завода, в основном занимался поисками руд, работал в петрографо-минералогической лаборатории Норильского комбината. Туда их ежедневно водили под конвоем и под конвоем же они возвращались в зону. Вскоре он собрал большую коллекцию образцов руд и сопутствующих пород, а к тому времени в Норильск приехал геолог Г.Г.Моор. Этот человек был из числа тех, кто бессовестно использовал работающих заключенных, считая их рабами, с выгодой для себя. Зная Михаила Николаевича как хорошего минералога, он решил поручить ему обработать ту минералогическую коллекцию, которую Михаил Николаевич собрал, сказав при этом, что автором будет он, Моор. Михаил Николаевич наотрез отказался от этого предложения, за что и был отправлен работать в шахту на рудник 3/6, где провел 4 года.

Этот случай показателен. Заключенные подвергались угнетению со стороны не только уголовников и охранников, но и свободных, вольнонаемных людей и даже не свободных, но живущих вне зоны. Это было характерно для того времени: "Жестокость людских отношений, броня бесчувствия на сердце, враждебность таланту и

добросовестной работе - все это было не только в лагере, но и покорило прилагерный мир и легко перекинулось на волю. Так архипелаг мстит Союзу за свое создание. Так никакая жестокость не проходит даром" (Солженицын А.И. Архипелаг Гулаг. Париж, 1974. Т. 2. С. 550).

С декабря 1951 г. Михаил Николаевич - начальник тематической партии Норильского комбината; он ведет самостоятельную работу, но живет в зоне и ежедневно ходит на работу и возвращается с охранником. В Горлаге, в отделениях особого режима, с тяжелыми условиями труда и жизни, была собрана интеллигенция, специалисты разных профессий. Благодаря их знаниям и труду построены город и комбинат.

Перечислить всех, с кем познакомился Михаил Николаевич в лагере, невозможно. Назову только тех, дружеские отношения с которыми продолжались и после освобождения из заключения: геологи Александр Павлович Булмасов, Григорий Борисович Роговер, Николай Михайлович Федоровский, Лев Александрович Рабинович, Юрий Васильевич Мурахтанов, Николай Николаевич Урванцев, врач Левин (как он себя называл, "убийца Горького"), инженер Владимир Владимирович Люри, архитектор Николай Михайлович Лаптев, Федор Аркадьевич Старшинов - прибыл пешеходным этапом из Соловецкого лагеря в Норильск и единственный, кто остался в живых после этого этапа. После реабилитации жил и работал геологом в Норильске, умер там же в 1988 г. Из молодых людей, бывших с Михаилом Николаевичем в лагере и сохранивших с ним дружбу, были Владимир Петрович Яровой и Борис Петрович Дубицкий, который написал воспоминания о Горлаге, о жизни там заключенных и о восстании в 1953 г.

М.Н.Годлевский и Б.П.Дубицкий были в одном лаготделении. Попав в лагерь в 23-летнем возрасте, Борис Петрович, как он вспоминает, получил образование в среде лагерной интеллигенции. Он был очень привязан к Михаилу Николаевичу. Однако по доносу их однажды вызвали на допрос и спросили, о чем они разговаривают, чем объясняется их дружба. В результате Дубицкого перевели в другое отделение и поставили на рытье котлована. Через несколько дней Михаила Николаевича вызвали ночью и предложили стать "стукачом". Он, естественно, отказался и был отправлен на рытье котлована в известняковый карьер, откуда почти никто не выходил живым. Спасла Михаила Николаевича тайная организация, видимо ОУНовцы[1], которая каким-то образом узнавала, кого начальству удавалось завербовать, а кого нет. Стукачей они убивали. В тот день, когда Михаил Николаевич с лопатой вышел на работу в карьер, за ним прибежал бригадир, привел в свою сторожку и приказал не выходить, показав записку с изображением костей и черепа. В записке под страхом смерти приказывалось освободить Годлевского от работы в карьере. Бригадир сказал: "Сиди здесь, мне жизнь дорога". Через некоторое время Михаила Николаевича вернули в 4-е лаготделение.

Как вспоминает Б.П.Дубицкий, Михаил Николаевич в лагере делал все, что мог, для оказания помощи людям, попавшим в беду или неблагоприятную обстановку. Так, например, когда Дубицкий оказался в бригаде на рытье котлована, Михаил Николаевич обратился к начальнику конторы электромонтажных работ Владимиру Николаевичу Ларину (тоже заключенному) с просьбой перевести Бориса Петровича в контору. Таким образом Борис Петрович попал в 5-е лаготделение. Некоторое время Борис Петрович и Михаил Николаевич были в разных лаготделениях, но после норильского восстания 1953 г. они вновь оказались вместе.

Владимир Петрович Яровой освободился из лагеря позднее Михаила Николаевича. Михаил Николаевич(до реабилитации)уже преподавал в Норильском горном техникуме.

---

[1] ОУН - организация украинских националистов.

Когда молодой человек стал поступать в техникум, то натолкнулся на непонятное сопротивление - его не принимали, не объясняя причины. Яровой поделился своими затруднениями с Михаилом Николаевичем. Со свойственной ему решительностью, М.Н.Годлевский потребовал у директора техникума объяснения причин. "Если причиной этому является пребывание его в прошлом в Горлаге, то я больше не буду преподавать у вас в техникуме, так как я тоже был там", - заявил Михаил Николаевич. Таким образом, конфликт был исчерпан, и Яровой был принят в техникум.

В 1956 г. Михаил Николаевич приехал в Москву и обратился в прокуратуру с просьбой о реабилитации, где ему сказали, что для реабилитации необходимо, чтобы человек, оклеветавший его, явился в прокуратуру и отказался от данных ранее показаний. Он спросил: "Где его найти?". Ему цинично ответили: "Если бы он был нужен нам, мы бы его нашли, а так как он нужен вам, ищите его сами". Этого человека долго пришлось искать, но благодаря помощи друзей из Норильска Михаил Николаевич все-таки нашел его. Михаил Николаевич написал ему письмо с просьбой приехать в Москву и объяснил зачем. Написал также, что реабилитация касается и его. Тот сначала ответил, что стал "толстовцем", что ему не нужно прощение людей, нужно лишь Божье, а Бог его простил. В конце концов он приехал в Москву. Вышел из поезда босой, без шапки, с посохом и в таком виде прошествовал на Пушкинскую площадь, в прокуратуру. Там он отказался от своих прежних, вынужденных показаний.

В реабилитационной справке сказано: "Определением № 2-6126/47 Военной коллегии Верховного Суда СССР 10 ноября 1956 г. приговор Военного трибунала Ленинградского военного округа от 4 марта 1946 г. и определение Военной коллегии Верховного Суда СССР от 22 ноября 1947 г. в отношении Годлевского М.Н. отменены и дело о нем прекращено за необоснованностью обвинения". Имея эту справку, можно было жить и работать в любом городе СССР. Так как в послелагерные годы основные научные интересы М.Н.Годлевского были связаны с геологией, минералогией и геохимией медно-никелевых месторождений, он, поселившись в Москве, продолжал работать в трудных условиях Заполярья, тщательно изучать Норильские месторождения - их геологию, тектонику, петрологию траппов и рудоносных интрузий, минералогию, вещественный состав руд, распределение в них благородных металлов, редких и рассеянных элементов, вопросы их обогащения и многое другое.

После реабилитации Михаил Николаевич написал и защитил докторскую диссертацию на тему "Траппы и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района", в нее входит и изучение петрографии траппов, и минералогия сульфидных медно-никелевых месторождений Норильск-I и др., и генезис всех месторождений [15].

М.Н.Годлевскому удается решить в этот период многие кардинальные вопросы генезиса месторождений: установить их тесную связь - пространственную и генетическую - с интрузиями габбро-долеритов и приуроченность к определенным тектоническим структурам, определить время и условия проявления в ходе развития траппового магматизма на Сибирской платформе, изучить механизм возникновения и дальнейшую эволюцию сульфидного расплава, причины появления сплошных и вкрапленных руд определенного состава, тип дифференциации базальтоидной магмы по особой модификации схемы Боуэна, которая впоследствии получила в литературе название схемы Годлевского [53]. Всем этим вопросам посвящены докторская диссертация М.Н.Годлевского и изданная на ее основе монография "Траппы и рудоносные интрузии Норильского района", глава в 15-м томе "Геологии СССР", статьи и множество рукописных работ [16,17].

В 60-70-е годы особенно широко развернулись теоретические исследования М.Н.Годлевского с целеустремленной практической деятельностью. Им был создан сектор геологии и прогнозирования месторождений никеля, кобальта и платиновых металлов в ЦНИГРИ, где он одновременно возглавил отдел минералогических исследований [35] .

В начале 60-х годов М.Н.Годлевский разработал широкую программу исследования медно-никелевых месторождений, одобренную на первом совещании по геологии никелевых месторождений и перспективам никеленосности территории СССР, которое состоялось в г.Апатиты. В соответствии с этой программой, под руководством и при непосредственном участии Михаила Николаевича, работниками промышленности и научно-исследовательских коллективов проводилось планомерное изучение месторождений Норильского района, в том числе вновь открытого Талнахского, рудопроявлений Северного Прибайкалья, Северной и Центральной Карелии и Ветренного пояса, месторождений Печенги. Было организовано специальное изучение минералогии и геохимии платиновых металлов, проведены исследования серы сульфидов Норильских и Печенгских месторождений, организовано экспериментальное исследование главных рудообразующих минералов и их ассоциаций [28]. Во всех этих работах принимал участие коллектив геологов, в большинстве бывших учениками М.Н.Годлевского, воспитанию которых он уделил исключительное внимание. Многие из них выросли в крупных исследователей, с успехом продолжающих и развивающих отрасль науки, которой посвятил свою жизнь М.Н.Годлевский [I, 47-55].

В 1963 г. Михаил Николаевич разработал первую классификацию медно-никелевых месторождений мира на геотектонической основе, разделив их на три крупные структурно-временные группы: I-я - месторождения протерозойского возраста на древних кристаллических щитах (Бушвельд, Стиллуотер, Садбери и др.); 2-я - месторождения подвижных зон (каледонские и герцинские Северной Америки, Доверенские, Чайский и Ньюрундукский массивы Северного Прибайкалья); 3-я - месторождения на древних платформах - основные и ультраосновные дифференцированные интрузии областей развития траппов (месторождения Норильского района, Южной Африки), подобные им интрузии на активированной Китайской платформе [18]. Впоследствии, после открытия австралийских месторождений в пределах архейских зеленокаменных поясов и появления новых материалов по месторождениям Печенги, Северного Прибайкалья, эта классификация была усовершенствована и существенно уточнена [23].

Параллельно Михаил Николаевич усиленно работает над теорией процессов рудообразования. На основе обзора гипотез происхождения сульфидно-никелевых месторождений (1963 г.) он пишет теоретическую работу "Фазовые равновесия в некоторых бинарных системах и их значение в теории рудообразования" [19], в которой разбирает фазовые равновесия в бинарных системах с расслоением в жидкой фазе и со значительным различием в летучести компонентов, ближе всего отвечающих условиям, существовавшим в минералообразующих растворах. Фазовые диаграммы бинарных систем важны при изучении магматической ликвации, отделения гидротермальных растворов от магматического очага и при решении других вопросов теории рудообразования.

В познании генезиса медно-никелевых месторождений М.Н.Годлевским была показана зависимость минерального состава руд на разных этапах рудообразования не только от подвижности металлов, но и от режима серы. Им была выделена фация инертного поведения серы, для которой характерны процессы образования первичных вкрапленных и жильных пирротиновых и халькопиритовых руд, образование остаточных борнит-миллеритовых руд и наложенного более позднего оруденения. К фации вполне подвижного поведения серы (ниже 350-300^{o}C) отнесены внешние зоны экзоконтактовых

руд и другие низкотемпературные образования с большим содержанием дисульфидов. Таким образом, рудоносность магматических комплексов в значительной степени зависит от содержания серы в исходном расплаве [30].

Считая метод Д.С.Коржинского могучим инструментом в руках исследователя, М.Н. Годлевский подготовил и прочитал в 1964 г. на геологическом факультете МГУ курс лекций по физико-химической петрологии, а также опубликовал учебное руководство "Методика составления физико-химических диаграмм" [20], в котором изложены операции построения диаграмм по термодинамическим данным. В дальнейшем, использовав теорию экспериментальных состояний, Михаил Николаевич рассмотрел пути дифференциации базальтоидных интрузий в зависимости от подвижности FeO и SiO_2 [44, 45]. Была показана ошибочность концепции Осборна о решающей роли режима кислорода в реализации боуэновского и феннеровского путей расслоения дифференцированных интрузий. Составленная диаграмма направлений кристаллизации интрузий скайергардского и норильского типов впоследствии использовалась для выяснения путей кристаллизации других никеленосных комплексов. В 1968 г. Михаил Николаевич обобщил накопленные к тому времени факты и представил созданную им концепцию генезиса сульфидных медно-никелевых месторождений в разделе "Магматические месторождения" фундаментальной книги "Генезис эндогенных рудных месторождений", изданной под редакцией академика В.И.Смирнова [24]. В этой работе дана обстоятельная теория размещения и формирования магматогенных месторождений (комплекс всех магматогенных месторождений). Здесь же дано обобщение генезиса не только сульфидных медно-никелевых месторождений, но и месторождений минералов хрома и титана.

В 70-х годах геологическая общественность широко обсуждает проблемы верхней мантии. Михаил Николаевич выдвигает идею промежуточного положения никеленосных интрузий между базальтами и хондритами [26, 27]. Плавление их связывается с подкоровыми процессами выплавления базальта из мантийного вещества в согласии с теорией зонного плавления Виноградова. Постоянство состава медно-никелевых месторождений во времени и пространстве и особенно неизменный состав серы, отвечающий метеоритному, заставляет предполагать однородный характер астеносферных очагов, в которых происходит выплавление магмы никеленосных интрузий. Эти идеи оказались весьма плодотворными и были широко использованы рядом ученых-геологов.

В начале 70-х годов М.Н.Годлевский перешел к систематическому изучению медно-никелевых месторождений на древних щитах в области проявления регионального метаморфизма. Поисковая практика требовала ответа на вопрос о роли метаморфизма в рудообразовании. Существовали крайние точки зрения - от полного отрицания какой-либо роли метаморфизма до метаморфогенного рудообразования. В 1976 г. на примере метаморфизованных гипербазитов Хаутоваарской зоны Карелии Михаил Николаевич совместно с **Е.С.Баташовым** изучил граничные условия соосаждения главных рудных и силикатных минералов по температуре, фугитивности серы и кислорода [29]. Была предложена трехмерная диаграмма полей устойчивости сульфидов-окислов-сульфатов железа с основными буферными кривыми и полями устойчивости метаморфических минералов. Весьма узкое поле устойчивости пентландита при имеющих место в природе малых колебаниях всех параметров сильно ограничивает возможность образования метаморфогенного сульфидно-никелевого оруденения. Дальнейшие работы в указанном направлении проводились в главном никеленосном районе Кольского полуострова - на Печенге. Тяжелая болезнь помешала М.Н.Годлевскому продолжить экспедиционные работы, но, однако, она не остановила ни теоретических исследований, ни прогнозных. Михаилом Николаевичем они были продолжены: так, в [32] было показано, как вес-

ти работы на всей территории Восточной Сибири, чтобы обнаружить месторождения никеля. В [59] дана общая теория образования медно-никелевых месторождений. Эта же тема продолжена в [36], в которой показаны условия образования и особенно эволюция рудоносных магм. Разработаны также основы теории медно-никелевого рудообразования именно в Норильском районе [37]. Наконец, даны генетическая классификация минералов и условия проявления рудоносных формаций, образующих месторождения меди и никеля [34].

М.Н.Годлевского всегда отличала необычайная широта научных интересов. Это и золотоносность базитовых интрузий [43], и изотопия серы, и роль углеродистого вещества в метаморфическом преобразовании руд, и типоморфизм алмаза [31], и вопросы статистической обработки петрохимических диаграмм [25] и многое другое. Во всех этих областях он создал глубокие и оригинальные работы, преследующие ясную практическую цель - поставить поиски месторождений на строгую научную основу. Ряд своих трудов он посвятил принципам научного прогнозирования медно-никелевых месторождений различных эпох развития земной коры и непосредственно методике поиска слепых рудных тел. Особенностью его исследований было глубокое изучение геологии отдельных месторождений, а затем и регионов, скрупулезное исследование вещественного состава месторождений, их минералогии, осмысливание всех данных с геологических и физико-химических позиций, что уже сформировалось в его работах по боратам.

М.Н.Годлевский - автор 180 научных работ. Он обладал энциклопедическими знаниями не только в области геологических наук. Он свободно владел несколькими европейскими языками, хорошо знал и использовал в своих трудах термодинамику, физическую химию и математику. Он был профессором, доктором геолого-минералогических наук, в течение многих лет выполнял большую ответственную работу куратора Мингео СССР по никелю, кобальту и платиновым металлам, 10 лет был членом ВАК, членом ученых советов ряда институтов и редакционных коллегий "Записок Всесоюзного Минералогического общества" и "Геологии рудных месторождений", членом комиссии по новым минералам ВМО, был почетным членом Всесоюзного минералогического общества.

Его именем назван рудный минерал годлевскит, сначала обнаруженный в Норильске, а затем - в Канаде, Марокко и Австралии [49, 50, 57, 58, 60].

За свою научную и практическую деятельность Михаил Николаевич был награжден орденами Ленина и Трудового Красного Знамени, но, с моей точки зрения, это не имело ровно никакого значения. Иными словами, это не помогало человеку в работе. Наоборот, постоянно были помехи со стороны отдела кадров министерства, бюрократов и чиновников КГБ; так, например, когда встал вопрос о зарубежных поездках Михаила Николаевича в ГДР, Индию, то всегда выдвигались препятствия, и он не мог поехать. Ученым советом ЦНИГРИ он был представлен на звание заслуженного деятеля науки, но его кандидатура была отведена зам.министра по кадрам Мингео СССР ——→ А.А.Рясным. Когда академик-секретарь Отделения наук о Земле АН СССР Владимир Иванович Смирнов выдвинул его кандидатуру в академики и это было поддержано другими геологами-академиками отделения, то на первом же этапе "фильтрующая" комиссия не допустила его до голосования даже на первой стадии - стадии Отделения наук о Земле. После реабилитации и когда он начал интенсивно работать, в 1961 или 1962 г. он получил повестку-вызов в КГБ на Малую Лубянку, где следователь в течение 2 ч беседовал с ним о его пребывании в немецком лагере военнопленных. Что бы ни спрашивал его следователь, ответ был один: Михаил Николаевич был в плену на положении рядового пленного, на общих работах и никогда ни о чем с немцами не разгова-

ривал. Следователю пришлось разорвать несколько допросных листов, прежде чем Михаил Николаевич подписал то, что соответствовало правде. Таким образом, постоянно чувствовалось, что на нем "клеймо", которое очень мешало работать, а работа была его жизнью.

Если бы только чиновники министерства или системы безопасности и правопорядка мешали работать - это их обязанность не доверять и проверять! Плохо было другое. Возможностью препятствовать работе и успехам талантливого ученого и бывшего заключенного пользовались люди, сохранившие старые традиции и в Мингео СССР, и в бывшем НИГРИзолото Главспец МВД СССР. К таким людям постоянно придирались, отыскивали или придумывали недостатки в их работе, в организуемых ими новых и очень важных подразделениях типа лаборатории по платине, неугодную национальность, добивались увольнения, доводили до инфаркта.

Из лагеря Михаил Николаевич вышел больным человеком. Духовно сильный, он тяжело переживал трудности в работе, постоянно говорил, что у него отняли 15 лет жизни и что он должен еще много сделать. Кончилось тем, что в 1973 г. Михаил Николаевич очень тяжело заболел и больше не мог интенсивно работать, как это ему хотелось. Однако все последние годы своей жизни он писал, консультировал, и последняя его статья обрывается на середине фразы.

Михаил Николаевич Годлевский скончался 4 июня 1984 г.

Литература

1. Баташов Е.В. Геологическая предпосылка никеленосности Воронежско-Украинской провинции // Тр. ЦНИГРИ. 1986. Вып. 209.
2. Годлевский М.Н. Материалы по минералогии бурых железняков Хоперского района // Тр. геол.-развед. об-ния НКТП СССР. 1932. Вып. 199.
3. Годлевский М.Н.Новые месторождения пирофиллита на Урале. Материалы ЦНИГРИ // Петрография, минералогия. Л.;М.;Новосибирск, 1933. Сб. 2.
4. Годлевский М.Н. Айдырлит - новый минерал // Зап. Всерос. минерал. о-ва. 1934. Ч. 63, вып. 2.
5. Годлевский М.Н. Минералогическое описание месторождений силикатов никеля в СССР. Л.; ВСЕГЕИ, 1934.
6. Годлевский М.Н. Окислы и гидроокислы // Курс минералогии. Л.;М.: ОНТИ, 1936.
7. Годлевский М.Н. Краткий курс кристаллографии Л.;М.: ОНТИ, 1936-1938.
8. Годлевский М.Н. Находка калиборита в соляной толще Индерского поднятия // Зап. Всерос. минерал. о-ва. 1938. Ч. 67, вып. 2.
9. Годлевский М.Н. Результаты минералогических исследований в Индерском районе // Там же. 1939. Ч. 68, вып. 4.
10. Годлевский М.Н. Глауберит из соляной толщи Ишимбаево и из оз. Туз-Кыр // Там же. 1939. Ч. 68, вып. 4.
11. Годлевский М.Н. Курнаковит - новый борат // Докл. АН СССР. 1940. Т. 28, № 7.
12. Годлевский М.Н. Люнебургит из Стебниковского месторождения калийных солей // Там же. 1941. Т. 32, № 5.
13. Годлевский М.Н. Новый борат - метагидроборацит // Там же. 1942. Т. 33, № 3.
14. Годлевский М.Н. Комплексное вскрытие Кайерканского угольного месторождения. Норильск, 1949. Препр.
15. Годлевский М.Н. Траппы и сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района: Дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Л., 1959.
16. Годлевский М.Н. Сульфидные медноникелевые месторождения Норильского района // Геология СССР. М., 1957. Т. 15.

I7. Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М.: Госгеолтехиздат, I959.

I8. Годлевский М.Н. Медноникелевые месторождения мира и проблемы их генезиса. М.: Недра, I963.

I9. Годлевский М.Н. Фазовые равновесия в некоторых бинарных системах и их значение в теории рудообразования // Геология руд. месторождений. I963. Т. 5, № 3.

20. Годлевский М.Н. Методика составления физико-химических диаграмм. М.: Недра, I965.

2I. Годлевский М.Н. О дифференциальной подвижности компонентов при формировании сульфидных медноникелевых руд // Геология руд. месторождений. I967. Т. 9, № 2.

22. Годлевский М.Н. Источники оруденения, связанного с траппами Сибирской платформы. М., I967. (Тр. НИИГА; Т. I5I).

23. Годлевский М.Н. Никеленосные провинции СССР // Тр.ЦНИГРИ. I967. Вып. 75.

24. Годлевский М.Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, I968.

25. Годлевский М.Н. Статистическая обработка петрохимических диаграмм. А.Н. Заварицкого для эффузивных горных пород // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. I970. Ч. 99, вып. 2.

26. Годлевский М.Н. Связь образования никеленосных интрузий с процессами в земной коре и верхней мантии // Петрология и металлогения базитов. М.: Наука, I97I.

27. Годлевский М.Н. О характере связи сульфидного медноникелевого оруденения с формациями базитов и гипербазитов // Магматизм и полезные ископаемые. М.: Наука, I975.

28. Годлевский М.Н. Принципы расчленения базальтовой толщи Норильского района и задачи дальнейших исследований // Тр. ЦНИГРИ. I98I. Вып. I62. С. 3-7.

29. Годлевский М.Н., Баташов Е.В. Метаморфизм и метаморфогенное сульфидноникелевое оруденение в гипербазитах Хаутоваарской зоны // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. I976. Ч. I05, вып. 2.

30. Годлевский Н.М., Гриненко Л.Н. Некоторые данные об изотопном составе серы сульфидов Норильского месторождения // Геохимия. I963. № I.

3I. Годлевский М.Н., Гуркина Г.А. Типоморфизм кристаллов алмаза ряда октаэдр-куб. // Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов: Материалы XI съезда ММА. М.: Наука, I980.

32. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. О перспективах и направлениях исследований и поисково-разведочных работ на никель в пределах Восточной Сибири // Тр. ЦНИГРИ. I977. Вып. I27.

33. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Магматизм и медноникелевые образования // Проблемы петрогенеза и рудообразования, корреляция эндогенных процессов. Иркутск, I979.

34. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Условия зарождения и кристаллизации рудоносных магм, формирующих медноникелевые месторождения // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Новосибирск: Наука, I979. Т. I.

35. Годлевский М.Н., Лихачев А.П., Кочнев-Первухов В.И. и др. О принципах прогнозирования медноникелевых месторождений. М.: Наука, I98I.

36. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Условия образования и эволюция рудоносных и ультраосновных магм // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. I98I. Ч. II0, вып. 6.

37. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Медноникелевое рудообразование в Норильском районе // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, I983. Т. I.

38. Годлевский М.Н., Немилова А.В. Литература по кристаллографии и минералогии за I935 // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. I936. Ч. 65, вып. I.

39. Годлевский М.Н., Немилова А.В. Литература по кристаллографии и минералогии за 1936 г. // Там же. 1937. Ч. 67, вып. 4.

40. Годлевский М.Н., Немилова А.В. Литература по кристаллографии и минералогии за 1937 г. // Там же. 1938. Ч. 68, вып. 3.

41. Годлевский М.Н., Немилова А.В. Литература по кристаллографии и минералогии за 1938 г. // Там же. 1939. Ч. 69, вып. 3.

42. Годлевский М.Н., Немилова А.В. Литература по кристаллографии и минералогии за 1939 г. // Там же. 1940. Ч. 70, вып. 4.

43. Годлевский М.Н., Разин Л.В. Золотоносность дифференцированных интрузий норильского типа // Тр. ЦНИГРИ. 1970. Вып. 87.

44. Годлевский М.Н., Степанов В.К. К вопросу о происхождении никеленосных членов толеитовой формации: (физ.-хим. исследования) // Тр. ЦНИГРИ. 1967. Вып. 80.

45. Годлевский М.Н., Степанов В.К. Дифференциация базальтоидных интрузий в зависимости от подвижности FeO и SiO_2// Очерки физико-химической петрологии. М.: Наука, 1969.

46. Годлевский М.Н., Степанов В.К., Полушкина А.П. Моноклинные пироксены Талнахской дифференцированной интрузии // Зап. Всесоюз.минерал. о-ва. 1971. Ч. 2, вып. 5.

47. Заскинд Е.С., Кочнев В.И. Архейские ультраосновные коматиты среднего течения реки Кумбукса // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262, № 6. С. 1456-1458.

48. Кочнев В.И., Заскинд Е.С., Проскуряков В.В. Перидотитовые коматиты и рудогенез // Тр. Междунар. геол. конгр. М., 1984.

49. Кулагов Э.А., Евстигнеев О.Е., Юшко-Захарова О.Е. Новый сульфид никеля - годлевскит // Геология руд. месторождений. 1968. Т. 10, № 3.

50. Кулагов Э.А., Коваленко Л.Н., Браженко А.В. и др. Новые данные о годлевските // Изв. вузов. Геология и разведка. 1986.№ 10.

51. Лихачев А.П. Генетические модели сульфидно-никелевых формаций в связи с другими формациями // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, 1988. С. 158-166.

52. Разин Л.В. Месторождения платиновых металлов // Рудные месторождения СССР. М.: Недра, 1974, 1978. Т. 3.

53. Степанов В.К. Породообразующие минералы Талнахской интрузии и анализ их парагенезисов с разработкой критериев рудоносности: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1975.

54. Степанов В.К. Динамическая модель внедрения, кристаллизации и рудоотложения рудоносных интрузий Норильска // Тр. ЦНИГРИ. 1981. Вып. 162. С. 13-19.

55. Туровцев Д.М. Условия формирования формаций контактовых роговиков в ореолах дифференцированных трапповых интрузивов на Талнахском месторождении // Геология и петрология интрузивных траппов Сибирской платформы. М.: Наука, 1970.

56. Dybowski B. Godlewski Wiktor. Wspomnienia pośmiertne// Kosmos. 1900. T. X/XII. S. 690-692.

57. Fleet M.E. Structure of Godlevskite Ni_7S_6 // Acta crystallogr. 1987. Vol. 43. P. 2255-2257.

58. Fleet M.E. Stoichiometry, structure and twinning of Godlevskite and synthetic low-temperature Ni-excess sulfide // Canad. Miner. 1988. Vol. 26. P. 283-291.

59. Godlewsky M.N., Likhachev A.P. Types and distinctive features of orebearing formations of copper-nickel deposits // Geology and metallogeny of copper deposits / Ed. G.H. Friedrich et al. B: Springer-Varlag- Heidelberg, 1986.

60. Naldreft A.J., Gasparinic E., Buchan B., Muir J.E. Godlevskite, Mine Ontario // Canad. Miner. 1972. Vol. 11. P. 879-885.

СОДЕРЖАНИЕ

Годлевский М.Н., Немилова А.В. Очерки по истории минералогии в России в XVШ в. 3
Белаковский Д.И., Карпенко В.Ю., Мохов А.В. Двупреломляющий анальцим из камерных пегматитов Волыни 32
Годовиков А.А., Рипинен О.И., Павлюченко В.С. Лютециновые гексалиты - пример нового типа неорганических кристаллических тел, а их срастания - новый тип малых минеральных тел 37
Дымков Ю.М., Власов М.Б., Дымкова Г.А., Егоров И.Н., Коршунова А.Г., Назаренко Н.Г. Типоморфизм природных диоксидов урана 64
Дымков Ю.М., Рыжов Б.И., Бегизов В.Д., Дубакина Л.С., Завьялова Е.Н., Рябьева В.Г., Цветкова М.В. Мгриит, Bi-петровицит и ассоциирующиеся с ними селениды из карбонатных жил Рудных гор 81
Осипов П.В., Столповская В.Н. Щелочнодефектный хром-алюминиевый дравит - новая разновидность турмалина из массива Сарыкулболды 101
Спиридонов Э.М. Самородное ртутистое золото Северного Казахстана 108
Спиридонов Э.М. Нагиагит $AuPb_5Te_{4-x}Sb_xS_6$, x=0-2 (уточненные данные о составе) 128
Спиридонов Э.М. О составе и структуре минералов группы билибинскита-богдановита 138

Минералогические заметки

Ананьев С.А., Гаранин В.К., Коноваленко С.И., Кудрявцева Г.П.,Понайло И. Фиолетовая шпинель из хлорит-шпинелевых пород (Юго-Западный Памир) . . 146
Калачев В.Н., Дорохова Г.И. Кристаллы и двойники шпинели с месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир) 153
Карпенко В.Ю., Игнатенко К.И. Бабингтонит из Первомайского карьера в Крыму 158
Паутов Л.А., Хворов П.В., Игнатенко К.И. Первая находка манганозита в Средней Азии 164

Минералогия для всех

Кантор Б.З. Свидетельствуют расщепленные кристаллы 167

Годлевская Н.Ю. Михаил Николаевич Годлевский 173

Научное издание

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛАХ

Выпуск 37

Утверждено к печати
Минералогическим музеем им. А.Е. Ферсмана АН СССР

Редактор издательства В.И. Бондаренко
Художник А.Г. Кобрин
Художественный редактор М.В. Монастырская
Технический редактор Т.В. Фараонова

ИБ № 46970

Подписано к печати 22.08.91
Формат 70x100/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная
Усл.печ.л. 15,6. Усл.кр.-отт. 15,9. Уч.-изд.л. 16,0
Тираж 500 экз. Тип. зак. 1479. Цена 8 руб.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография
издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"

готовятся к печати книги:

И.Я. Некрасов. ГЕОХИМИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. - 35 а.л.

В работе обобщены результаты многолетних геологических и экспериментальных исследований геохимии, минералогии и генезиса золоторудных месторождений различной формационной принадлежности. Предложена новая геохимическая классификация золоторудных месторождений. Геохимия золота рассмотрена как с позиций его распределения в различных горных породах и минералах, так и с точки зрения его минеральных и химических форм нахождения. Это позволило проследить поведение золота в эндогенном и гипергенном процессах минералообразования и выявить условия, благоприятные для его концентрации. Впервые детально описаны 30 минералов золота, включая недавно открытые новые интерметаллиды, сульфиды, селениды, сульфоселениды, теллуриды и оксиды. Приведены физические свойства минералов золота, их рентгенографическая характеристика, парагенезисы и последовательность отложения в рудах. Впервые изучены фазовые отношения в важнейших золотосодержащих системах. Это позволило определить поля устойчивости золота и других его минералов. Экспериментальные исследования растворимости золота при температуре до 1000°С в воде, хлоридных, сульфидных и теллуридных растворах позволили определить формы нахождения золота в высокотемпературных флюидах, равновесных с силикатными расплавами. Впервые изучена растворимость золота в сурьмяно-сероводородных и мышьяк-сероводородных растворах при температуре 200-300°С и установлены гетерополиядерные комплексные соединения, в виде которых, вероятней всего, мигрировало золото в гидротермальных растворах. Представлены результаты экспериментального изучения растворимости золота в углеродсодержащих растворах, что позволило приблизиться к решению проблемы генезиса золота в черносланцевых толщах. На основании экспериментальных и минералого-геохимических исследований проанализировано поведение золота в магматическом и постмагматическом процессах и решен вопрос о причинах образования в золоторудных месторождениях.

Работа представляет собой сводку по генезису золоторудных месторождений, основанную на богатом геологическом материале и количественных экспериментальных данных.

Для геологов, геохимиков, минералогов, петрографов.

Петров В.П. ОБЗОР ВАЖНЕЙШИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (I - Строительные материалы; II - Кремнистые минералы и горные породы).

Строительные и кремнистые материалы используются в народном хозяйстве в огромных количествах и несмотря на большую дешевизну их единицы веса, общая стоимость ископаемых, добываемых в главных развитых странах, превышает стоимость руд всех ведущих металлов, извлекаемых из недр на той же территории. Рассматриваются требования к сырью и методов его оценки. Дан обзор важнейших месторождений строительного камня и кремнистого сырья в Советском Союзе и за рубежом.

Для геологов широкого профиля, строителей и металлургов, а также студентов соответствующих специальностей.

Адреса книготорговых предприятий "Академкнига" с указанием магазинов и отделов "Книга–почтой"

Магазины "Книга–почтой":

252107 Киев, ул. Татарская, 6; 197345 Ленинград, ул. Петрозаводская 7; 117393 Москва, ул. Академика Пилюгина, 14, корп. 2.

Магазины "Академкнига" с указанием отделов "Книга–почтой":

480091 Алма-Ата, ул. Фурманова, 91/97 "Книга–почтой"; 370001 Баку, ул. Коммунистическая, 51 "Книга–почтой"; 232600 Вильнюс, ул. Университето, 4 "Книга–почтой"; 690088 Владивосток, Океанский пр-т, 140 "Книга–почтой"; 320093 Днепропетровск, пр-т Гагарина, 24 "Книга–почтой"; 734001 Душанбе, пр-т Ленина, 95 "Книга–почтой"; 375002 Ереван, ул. Туманяна, 31; 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289 "Книга–почтой"; 420043 Казань, ул. Достоевского, 53 "Книга–почтой"; 252030 Киев, ул. Ленина, 42; 252142 Киев, пр-т Вернадского, 79; 252025 Киев, ул. Осипенко, 17; 277012 Кишинев, пр-т Ленина, 148 "Книга–почтой"; 343900 Краматорск Донецкой обл., ул. Марата, 1 "Книга–почтой"; 660049 Красноярск, пр-т Мира, 84; 443002 Куйбышев, пр-т Ленина, 2 "Книга–почтой"; 191104 Ленинград, Литейный пр-т, 57; 199164 Ленинград, Таможенный пер., 2; 194064 Ленинград, Тихорецкий пр-т, 4; 220012 Минск; Ленинский пр-т, 72 "Книга–почтой"; 103009 Москва, ул. Горького, 19-а; 117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7; 630090 Новосибирск, Морской пр-т, 22 "Книга–почтой"; 630076 Новосибирск, Красный пр-т., 51; 142284 Протвино Московской обл., ул. Победы, 8; 142292 Пущино Московской обл., ул. МР "В", 1 "Книга–почтой"; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137 "Книга–почтой"; 700000 Ташкент, ул. Ю. Фучика, 1; 700029 Ташкент, ул. Ленина, 73; 700070 Ташкент, ул. Ш. Руставели, 43; 700185 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6 "Книга–почтой"; 634050 Томск, наб. реки Ушайки, 18; 450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10 "Книга–почтой"; 450025 Уфа, ул. Коммунистическая, 49; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42 "Книга–почтой"; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87 "Книга–почтой"