

Т. Н. ЧВИЛЕВА

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА
И ДИАГНОСТИКА
СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ
СВИНЦА



ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“

КАДЕМИЯ НАУК
СССР

МИНИСТЕРСТВО
ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

549.

Т. Н. ЧВИЛЁВА

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА
И ДИАГНОСТИКА
СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ
СВИНЦА

906



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1973



Книга представляет второй выпуск серии методических пособий по диагностике рудных минералов, издаваемых Кабинетом минераграфии ИМГРЭ. В работе на основе большого фактического материала дается критический анализ справочной и периодической литературы по сульфоантимонитам свинца, сообщаются новые сведения по химическим составам минералов, закономерностям концентрации в них редких элементов, парагенетическим ассоциациям; приводятся уточненные характеристики физических свойств, позволяющие правильно диагностировать минералы группы.

Ответственный редактор

кандидат геолого-минералогических наук
М.С. Безмертная

Книга представляет второй выпуск из серии работ кабинета минералогии ИМГРЭ по диагностике рудных минералов и является результатом систематического изучения сульфоантимонитов свинца, проводившегося автором в течение ряда лет под руководством старшего научного сотрудника, кандидата геол.-мин. наук, М.С. Безмертной. Исследования осуществлялись на материале личных сбросов, сделанных на некоторых месторождениях Восточного Забайкалья (Дарасун, Савинское № 5, Почекуевское, Кличкинское, Центральное, Воздвиженское), на ряде месторождений и рудопроявлений в Средней Азии, а также на материале коллекций центральных минералогических музеев (АН СССР; Москва; Горного музея, Ленинград). Работая в музеях с любезного разрешения дирекции (Г.П. Барсанова, Ю.Л. Орлова, В.Д. Коломенского), зав. кафедрой минералогии Горного института, проф. Д.П. Григорьева и при постоянном содействии сотрудников (В.В. Якубовой, А.И. Ионовой, В.Г. Кузнецовой), автор имел исключительную возможность систематического изучения богатых коллекций минералов.

Образцы для исследований были получены также от частных лиц: К.Ф. Кузнецова, Г.М. Мейтува, В.П. Гончарова, В.И. Степанова, Ю.Л. Капустина (ИМГРЭ); В.П. Федорчука (САИГИМС); Н.А. Озеровой (ИГЕМ); Р.А. Амосова (ЦИНГРИ); Б.В. Бродина (Москва); А.В. Сидорова (Иркутский политехнический институт); О.К. Иванова (Уральский геологический музей); И.Н. Эпова и В.Г. Лохиной (Дарасунское рудоуправление); Ж.Хака (Чехословакия).

В общей сложности были изучены образцы более чем с 40 месторождений мира; в их числе месторождения, на которых сульфоантимониты свинца известны давно и их материалы широко освещены в отечественной и зарубежной печати, а также месторождения, где были сделаны первые открытия минералов этой группы.

Основное внимание в работе было уделено созданию эталонной коллекции минералов и ее всестороннему исследованию. Было сделано 25 полных химических анализов сульфоантимонитов (аналитики: кандидат биологических наук Л.Е. Новороссова - ИМГРЭ и А.И. Покровская - ИГЕМ); для 130 образцов проведены полуколичественные спектральные анализы и спектральные определения на редкие элементы (аналитик И.П. Токушев - ИМГРЭ); более чем для 70 образцов определены удельные веса (аналитики Г.Г. Прохорова - ИМГРЭ, В.С. Амелина - ИГЕМ, автор); для всех образцов сняты рентгенограммы (кристаллохимические лаборатории ИМГРЭ и ИГЕМ). Наряду с классическими методами, были применены новейшие методики, используемые для определения

микроколичеств вещества – микрорентгеноструктурный и микроспектральный анализы, измерения твердости по микровдавливанию, коэффициентов отражения для видимой области спектра, инфракрасная микроскопия.

Многие новые методы, и в первую очередь приемы измерения оптических констант рудных минералов, находятся в настоящее время лишь в стадии разработки и становления и еще очень далеки от массового их применения. Поэтому использование их сопряжено с большими трудностями. Несовпадение данных, получаемых для одного и того же объекта на разных приборах, требовало проведения систематического контроля результатов измерения, анализа причин несовпадений, а также выявления источников возможных ошибок. В работе для всех изученных минералов спектры отражения приводятся по результатам исследований их на опытной модели прибора "Блеск" (Агроскин, Папаян, Раутиан, 1972). Твердость по микровдавливанию была определена на приборе ПМТ-3 С.И.Лебедевой (1963).

Всем лицам, предоставившим образцы сульфoантимонитов свинца, а также выполнявшим различные аналитические исследования, автор искренне признателен. Большую помощь при написании работы оказали автору критические замечания М.С. Сахаровой. Особенно благодарен автор М.С. Безмертной, В.П. Федорчуку и М.Ф. Стрелкину, полезными консультациями и советами которых он постоянно пользовался в процессе работы.

Сульфoантимониты свинца представляют собой сложные соединения главным образом свинца, сурьмы и серы; известны более ста лет. Некоторые из минералов этой группы имеют весьма широкое распространение в природе, нередко слагая сплошные рудные тела и даже самостоятельные месторождения, и используются в качестве сырья на свинец и сурьму. В ряде полиметаллических месторождений сульфoантимониты являются серьезными концентраторами таллия и индия и могут быть использованы для промышленного извлечения этих металлов. Представляя таким образом определенную промышленную ценность, сульфoантимониты свинца постоянно привлекали внимание исследователей руд и неоднократно являлись объектами не только чисто минералогических, но и специальных прикладных исследований. В литературе накопились сведения, характеризующие внешние физические, механические, кристаллографические и оптические свойства сульфoантимонитов, а также особенности их химического состава и парагенетические ассоциации. Тем не менее, необходимой ясности и определенности в отношении многих характеристик этих минералов в связи с неудовлетворительным состоянием их диагностики все еще не достигнуто.

Актуальность проблемы диагностики стала очевидной уже в самом начале исследований, когда было обнаружено, что ошибки в определениях сульфoантимонитов, рассматривавшиеся нами вначале как случайные, в действительности носят систематический характер и имели место не только на заре развития знаний о минералах этой группы, но происходят и в настоящее время.

В связи с неправильными определениями в литературе появились сведения о многих "редких" сульфoантимонитах, таких как фалькманит, иенерит, верренит и других, считавшихся самостоятельными минеральными видами, которые, однако, при позднейших, более детальном исследовании, оказались идентичными по свойствам некоторым, действительно существующим сульфoантимонитам (главным образом буланжериту и джемсониту).

Ошибки в определениях минералов явились первопричиной всех других неточностей в представлениях о сульфoантимонитах свинца. Занимаясь систематическим изучением коллекций сульфoантимонитов, мы постоянно убеждались в том, что именно ошибки в диагностике повлекли за собой ошибочные суждения о химических составах некоторых сульфoантимонитов и закономерностях распределения в них редких элементов, а также спорные выводы генетического характера о преимущественно совместном нахождении всех минералов группы в месторождениях различных генетических типов.

Ошибки диагностики перешли в справочную литературу. В справочники вошли формальные, слишком обобщенные, иногда неточные описания, не обеспечивающие разграничения свойств и индивидуализацию минералов.

Все эти затруднения и неудачи возникали вследствие близости многих свойств минералов. Сульфоантимониты свинца, имея качественно близкие химические составы, характеризуются общностью структурных мотивов, которая и определяет многие черты сходства. Так, общими признаками сходства являются призматический, для большинства сульфоантимонитов, облик индивидов, высокие и при грубом определении достаточно близкие удельные веса, качественно близкие оптические свойства в отраженном свете и некоторые общие особенности в условиях происхождения. Выявление индивидуальных различий минералов, сходных во многих отношениях, при наличии противоречивых описаний их свойств в справочниках, представляет исключительно трудную задачу, выполнение которой возможно лишь при проведении специальных исследований на большом и разнообразном фактическом материале. Первый положительный опыт подобных исследований принадлежит Веггу (1940), который на материале коллекций сульфоантимонитов музеев США и Канады провел систематическое рентгенометрическое изучение этих минералов.

В книге излагаются результаты проводившегося автором с 1962 г. систематического изучения сульфоантимонитов свинца и дается критический анализ справочной и периодической литературы. Полученные данные уточняют дискуссирующиеся химические составы некоторых сульфоантимонитов, вопросы селективной концентрации редких элементов, характеристики физических свойств минералов (удельного веса, спайности, морфологии агрегатов). Выявленные новые факты и закономерности генетического характера позволяют внести большую определенность в представления о месте этих минералов в процессах рудообразования и по-иному подойти к проблеме их диагностики.

Являясь продолжением работ по диагностике рудных минералов, выполняемых в кабинете минераграфии ИМГРЭ, пособие полностью сохраняет структуру и форму изложения материала, принятых в первом выпуске (Безсмертная и др., 1969), "Определение теллуридов под микроскопом". Преимущественной формой нахождения в природе сульфоантимонитов свинца, в отличие от микроскопически малых выделений теллуридов, являются концентрации, привлекающие внимание уже в забое, поэтому в данном выпуске значительное место отведено макродиагностике минералов. После описания минералов, в самостоятельных разделах, рассматриваются вопросы, общие для всех минералов группы: химические составы и закономерности концентрации редких элементов, место сульфоантимонитов в процессах рудообразования. В заключительном разделе обсуждается положение сульфоантимонитов свинца в общей классификации минералов и высказываются некоторые соображения номенклатурного и терминологического порядка.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

R_g, R_p - главные коэффициенты отражения двусосных минералов

$\Delta R_{\text{отн}} = \frac{R_g - R_p}{R_g}$ - относительная сила двуотражения, в долях единицы

a_0, b_0, c_0 - постоянные решетки в метрических ангстремах (Å)

Z - число химических формульных единиц в элементарной ячейке

α, β, γ - углы между кристаллографическими осями

d - межплоскостные расстояния в ангстремах (Å)

I - интенсивность линий порошкограммы

Гексаг.с. - гексагональная сингония

Ромб.с. - ромбическая сингония

Монокл.с. - моноклинная сингония

Трикл.с. - триклинная сингония

Н.о. - нерастворимый остаток

Теор.состав - теоретический состав

Уд.вес - удельный вес

λ - длина волны света

Соотношение между цветом и длиной волны

Визуальная оценка цвета	Интервал спектра (по Шаронову, 1961), нм	Обозначение спектральной линии	Длина волны (по Ortel, 1930), λ нм
Фиолетовый	390-450	H	396,8
-	-	g	422,7
-	-	γ	430,7
Синий	450-480	-	-
Голубой	480-510	F	486,1
Зеленый	510-550	E	527,0
Желто-зеленый	550-575	-	-
Желтый	575-585	-	-
Оранжевый	585-620	D	589,0
	-	C	656,2
Красный	620-800	B	686,7
	-	A	759,3

"Белый" Значения R_i полученные разными авторами в "белом" свете без точного указания длины волны, на графиках зависимости R от λ условно относятся к $\lambda = 589$ нм

СИСТЕМАТИКА СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ
СВИНЦА И ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

СИСТЕМАТИКА СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА

Списочный состав минералов группы неоднократно изменялся. В описательной минералогии приводится большое число названий сульфоантимонитов свинца, присвоенных предположительно различным минеральным видам. Из 20 таких наименований в настоящее время достоверно установленными считаются 10 минералов; из них 7 минералов являются собственно свинцово-сурьмяными; буланжерит, цинкениит, семсейит, гетероморфит, плагинит, фюлэпшит и робинсонит, и 3 минерала: джемсонит, менегинит и геокронит имеют более сложный химический состав.

В самые последние годы, когда в практике работы минералогов начали использоваться рентгеноспектральные микроанализаторы и стал возможным химический анализ микровыделений порядка 10 микрон, в группе сульфоантимонитов свинца открыты новые минералы (Jambor, 1967–1969). В большинстве своем это микрофазы, обнаруженные в полированных шлифах руд единственного месторождения Мэдок (Онтарио, Канада); из вновь открытых минералов три представляют соединения только свинца, сурьмы и серы, остальные имеют более сложные химические составы (см. табл. 1).

Главными элементами, входящими в состав сульфоантимонитов, являются свинец, сурьма и сера. Так как атомные структуры в настоящее время известны только для двух сульфоантимонитов (джемсонита и менегинита), наиболее рациональная классификация этих природных соединений может быть осуществлена лишь на основе последовательно выдержанного химического принципа. Химические составы сульфоантимонита различаются между собой главным образом по соотношению $PbS:Sb_2S_3$. Поэтому представляется удобным систематизировать минералы в убывающей (или возрастающей) последовательности отношения $PbS:Sb_2S_3$ (см. табл. 1).

Принятая систематика согласуется с химической классификацией сульфосолей, предложенной Э.С. Дана (1937), который рассматривает сульфосоли отдельно от сульфидов и выделяет среди них кислые соли, метасоли, промежуточные соли, ортосоли и основные соли. К сожалению, в более поздних справочниках эта классификация не использовалась и сульфосоли объединялись в группы на основании других принципов (Бетехтин, 1950; Минералы, 1960; Штрунц, 1962, Strunz, 1970). Кислотность – основность природных соединений играет решающую роль в образовании парагенетических ассоциаций, потому именно в этой химической природе сульфоантимонитов следует искать ключ к разре-

Систематика сульфoантимонитов свинца

Минерал	Химический состав	Отношение PbS: Sb ₂ S ₃	
Геокронит	5PbS·(Sb, As) ₂ S ₃	5:1	(5:1)
Менегинит	26PbS·Cu ₂ S·7Sb ₂ S ₃	26:7	(3,7:1)
Буланжерит	5PbS·2Sb ₂ S ₃	5:2	(2,5:1)
<i>Стеррит</i>	12PbS·5(Sb, As) ₂ S ₃ (?)	12:5	(2,4:1)
<i>Мэдокит</i>	7PbS·3(Sb, As) ₂ S ₃	7:3	(2,3:1)
Семсейит	9PbS·4Sb ₂ S ₃	9:4	(2,25:1)
<i>Стибидюфренуазит</i>	2PbS·Sb ₂ S ₃	2:1	(2:1)
<i>Венит</i>	2PbS·(Sb, As) ₂ S ₃	2:1	(2:1)
<i>Дадсонит</i>	11PbS·6Sb ₂ S ₃	11:6	(1,8:1)
<i>Плейферит</i>	16PbS·9(Sb, As) ₂ S ₃	16:9	(1,77:1)
Гетероморфит	7PbS·4Sb ₂ S ₃	7:4	(1,75:1)
<i>Сорбит</i>	12PbS·7(Sb, As) ₂ S ₃ (?)	12:7	(1,71:1)
<i>Лонзит</i>	22PbS·13Sb ₂ S ₃ (?)	22:13	(1,69:1)
Джемсонит	4PbS·FeS·3Sb ₂ S ₃	4:3	(1,33:1)
Плагионит	5PbS·4Sb ₂ S ₃	5:4	(1,25:1)
<i>Тинтинит</i>	5PbS·4Sb ₂ S ₃	5:4	(1,25:1)
Робинсонит	7PbS·6Sb ₂ S ₃	7:6	(1,17:1)
<i>Геттардит</i>	9PbS·8(Sb, As) ₂ S ₃	9:8	(1,12:1)
Цинкенит	PbS·Sb ₂ S ₃	1:1	(1:1)
<i>Твиннит</i>	PbS·(Sb, As) ₂ S ₃	1:1	(1:1)
Фюлэппит	3PbS·4Sb ₂ S ₃	3:4	(0,75:1)

Курсивом показаны новые минералы, встреченные в рудах только в виде микровыделений; сведения о них сообщаются в табл. 28 и в Приложении (табл. XIII).

шению проблемы их парагенезисов. Как будет показано далее в работе, принятая систематика оказывается весьма удобной с генетических позиций. Она отражает особенности условий образования и закономерные ассоциации сульфoантимонитов. В зависимости от соотно-

шения $PbS : Sb_2S_3$ в сульфоантимонитах в значительной степени находятся и многие свойства минералов: удельные веса, отражательная способность, твердость. Изменение физических свойств (удельного веса, отражательной способности) в зависимости от химического состава для некоторых сульфидов было в свое время установлено еще Ф.Филлипсом (Phillips, 1934), а позднее для группы плагинита - Sztrokay a. Baliy (1953). Эта же закономерность, как показывают наши наблюдения, оказывается справедливой и для всей группы сульфоантимонитов свинца в целом. Так, с уменьшением отношения $PbS : Sb_2S_3$

удельные веса минералов закономерно уменьшаются; та же прямая зависимость в общем характерна и для абсолютных величин отражательной способности - наибольшие значения R имеет геокронит, самый богатый свинцом сульфоантимонит, наиболее низкие величины R присущи цинкентиту. В отношении твердости (по микровдавливанию) также наблюдается определенная (обратная) зависимость, однако менее четко выраженная, чем для удельного веса и отражательной способности - цифры микротвердости в общем выше у сульфоантимонитов с более низким отношением $PbS : Sb_2S_3$.

ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

Общие замечания к описанию минералов

Порядок описания сульфоантимонитов свинца соответствует последовательности минералов в принятой нами систематике. Описания минералов построены по единому плану. Для всех минералов приводятся: общие сведения, химический состав и формула, рентгенометрические данные, микроскопия, условия нахождения, сходство и отличия, изученный материал.

В разделе "Общие сведения" дается краткая справка об истории исследования минерала и освещается состояние изученности. В конце раздела в сжатой табличной форме приведены основные свойства минералов: теоретический химический состав и формула, кристаллографические данные, признаки, оцениваемые при макронаблюдениях; сведения, уточненные автором или вновь полученные в процессе настоящего исследования, отмечены в таблицах звездочкой.

В разделе "Химический состав и формула" обсуждаются реальные химические анализы с привлечением фактических материалов автора.

Раздел "Рентгенометрические данные" содержит информацию о главных, наиболее интенсивных линиях дебаеграмм. Специальных рентгенометрических исследований сульфоантимонитов свинца нами не проводилось. Порошкограммы, снятые и рассчитанные для изученного материала, сравнивались визуально с эталонными пленками химически охарактеризованных образцов и с межплоскостными расстояниями, приведенными в атласе Пикона (Berry, Thompson, 1962). В случае расхождений со справочными данными дебаеграммы обсуждаются более детально.

В разделе "Микроскопия" рассматриваются оптические, механические и кристаллографические свойства сульфоантимонитов, наблюдаемые и оцениваемые в полированных шлифах. При обсуждении оптических свойств дается визуальная характеристика минералов в отраженном свете и сообщаются результаты исследований спектров отражения. Чтобы не повторяться многократно при описании отдельных минералов, вопросы измерения R , общие для всей группы, обсуждаются здесь, в общих замечаниях.

Систематическими измерениями коэффициентов отражения сульфоантимонитов свинца в разное время занимались многие исследователи: Цисарц (Рамдор, 1962), Бови и Тейлор (1959), Фолинсби (Folinsbee, 1949), Грей и Милман (Groy, Millman, 1962, 1964); в последние годы такие исследования осуществлены автором (Безсмертная, Чвилева и др. 1973), Н.Н. Мозговой и др. (1968) и Л.Н. Вьяльсовым (1969)¹. Все эти сведения приведены на графиках и включены в соответствующие таблицы.

Данные, сообщаемые Рамдором, были получены в 30-е гг., в самый начальный период освоения методики фотоэлектрических измерений на аппаратуре, которая в силу технического несовершенства не могла обеспечить получения надежных количественных характеристик. Для большинства сульфоантимонитов свинца, так же как и для многих других минералов, эти сведения отличаются от результатов, получаемых на современной аппаратуре. Значения R сульфоантимонитов в большинстве случаев занижены, особенно в красно-оранжевой области спектра, очевидно, вследствие недостаточной чувствительности в этой области применявшегося для измерения R фотоэлемента. Поэтому сведения, имеющиеся в руководстве Рамдора, могут быть использованы лишь для приближенной оценки общего уровня отражательной способности минералов группы.

Результаты Грея и Милмана относятся к концу 50-х - началу 60-х годов, к начальному периоду современных исканий, когда исследователи руд и конструкторы приборов начали усиленные поиски новых средств исследования спектров отражения. Грей и Милман, как уже отмечалось в печати (Ramdohr, 1964; Bowie, Henry, 1964), не получили объективной картины спектров из-за систематической погрешности, возникшей вследствие неудачного выбора эталона (ртуть) и конструктивных особенностей прибора; выводимые ими результаты не могут быть использованы в диагностике.

Измерения Фолинсби и Бови и Тейлора проведены в белом свете ($\lambda = 589$ нм) и в большинстве случаев достаточно правильно характеризуют интенсивность отражения сульфоантимонитов, оцениваемую при визуальных наблюдениях.

Спектры отражения сульфоантимонитов, полученные исследователями в последние годы, на современных приборах, не обнаруживают полной идентичности. Сведения, сообщаемые Н.Н. Мозговой и др. (1968), зна-

¹ В широком диапазоне частот спектры отражения исследовались В.В. Соболевым и др. (1968).

чительно отличаются от наших результатов. Расхождения в картинах спектральных профилей отмечаются для всех минералов группы и связаны, очевидно, в основном с иными значениями R эталона — пирита (Ракчеев, 1964), отличающимися от принятых для международного стандарта. Помимо этих несоответствий в работе Н.Н. Мозговой и др. содержатся ошибочные сведения о силе двуотражения большей части минералов группы, что явилось следствием измерения не главных сечений минералов.

Детально изученные образцы сульфоантимонитов исследовались автором на однолучевом приборе ПООС (Бурэ, Клейнбок, 1968; коэффициенты отражения определялись по алмазу, галениту и кремнию), на двулучевом микроспектрофотометре "Блеск" (Агроскин и др., 1972) и совместно с Л.Н. Вяльсовым на ПИОР'е (Вяльсов, 1969). Приводимые далее материалы по исследованию сульфоантимонитов на "Блеске" и ПИОР'е показывают в большинстве случаев хорошее совпадение.

Изучая спектры отражения сульфоантимонитов свинца, автор серьезное значение придавал выявлению различий в силе двуотражения минералов: правильная оценка силы двуотражения сульфоантимонитов помогает идентифицировать минералы группы. Однако анализ работ последних лет по исследованию спектров отражения показывает, что большинство минералогов эту важную оптическую характеристику анизотропных минералов в диагностике должным образом не используют. Такая неоправданная недооценка одного из главных оптических свойств побуждает нас более обстоятельно рассмотреть количественную сторону этого эффекта.

Для характеристики степени анизотропности минералов большинство исследователей использует абсолютное значение силы двуотражения $\Delta R = R_g - R_p$; однако эта величина невыразительная, так как не передает меры зрительной оценки эффекта двуотражения. На способ количественного выражения эффекта двуотражения неоднократно обращал внимание И.С. Вольнский (1959, 1963, 1966). Им было введено понятие об относительной величине двуотражения $\Delta R_{\text{отн.}} = \frac{R_g - R_p}{R_g}$ ¹; числовым значением относительной разницы двуотражения может быть достаточно определенно выражено качественное (глазомерное) восприятие двуотражения.

Визуальная оценка силы двуотражения основывается на понятии относительной величины оптического контраста, который может восприниматься зрительно, начиная приблизительно с 5% (относительных). У минералов, имеющих $\Delta R_{\text{отн.}} < 5\%$ (кварц, барит), двуотражение не заметно; из сульфоантимонитов свинца двуотражением, близким к пределу зрительного восприятия этого эффекта, характеризуется геокронит ($\Delta R_{\text{отн.}} \sim 6\%$), двуотражение которого сравнительно легко обнаруживается без иммерсии только благодаря наличию у минерала

¹ По этой формуле сила двуотражения выражена в долях единицы; чтобы получить ее значение в процентах, следует умножить на 100

полисинтетических двойников. Все остальные минералы группы имеют более заметное (умеренное до сильного) двуотражение. Чтобы составить реальное представление о соответствии зрительного восприятия силы двуотражения числовому выражению ее, ниже приведены значения $\Delta R_{\text{отн}}$ нескольких наиболее известных минералов. Так, сильно двуотражающие антимонит и кальцит имеют $\Delta R_{\text{отн}} \sim 30\%$; у графита, молибденита, валлериита — минералов с исключительно сильными эффектами двуотражения, $\Delta R_{\text{отн}}$ определяется в 50–70%. Сульфоантимониты свинца характеризуются умеренным (цинкениит и джемсонит — $\Delta R_{\text{отн}} = 11\text{--}12\%$) и умеренно-сильным (буланжерит $\sim 18\%$, менегинит $\sim 18\%$, плагионит — 20%) двуотражением; эти различия, как будет показано ниже, вполне определенно ощущаются и визуально.

Появление приборов достаточно высокой точности позволяет в настоящее время получать информацию и по некоторым другим оптическим свойствам светопоглощающих минералов. Так, Л.Н. Вяльсовым (1969) предложен графический метод определения осности и знака рудных минералов по результатам измерений R ; в работе этого автора приводятся соответствующие сведения для сульфоантимонитов свинца. Группой американских исследователей проводится систематическое изучение вращательных свойств рудных минералов, в том числе и сульфоантимонитов свинца (Cameron, 1961; Carpenter, Cameron, 1963; Rensburg, Cameron, 1965); первый отечественный опыт изучения вращательных свойств сульфоантимонитов содержится в работе Н.Н. Мозговой и др. (1968). Автором вращательные свойства сульфоантимонитов не исследовались и потому в работе не обсуждаются.

В конце раздела "Микроскопия", в рубрике "Механические свойства" приводятся сведения об относительном рельефе и твердости. Твердость по микровдавливанию изученных нами образцов сульфоантимонитов измерена С.И. Лебедевой на приборе ПМТ-3 методом микровдавливания алмазной пирамиды с углом при вершине 136° , при стандартной нагрузке 20 г; значения микротвердости выражены в кгс/мм².

Кристаллографические особенности в разделе микроскопия даются по результатам наблюдения этих свойств в полированных шлифах.

В разделе "Условия нахождения" указываются наиболее характерные парагенетические ассоциации и обсуждаются ошибки, возникавшие в связи с неправильной диагностикой.

В разделе "Сходство и отличия" рассматриваются ошибки в определениях сульфоантимонитов свинца, обращается внимание на наиболее вероятные возможности ошибочных определений и на наиболее важные черты отличия от сходных минералов.

Описание каждого минерала заканчивается рубрикой "изученный материал"; в ней дается перечень образцов, которыми располагал автор и приводится их краткая характеристика; в перечне сохранены названия, имевшиеся в этикетках музеев или у исследователей, от которых был получен каменный материал.

Геокронит

Общие сведения

Минерал назван в соответствии с алхимическими обозначениями сурьмы и свинца (Svanberg, 1841).

Синонимы: кильбрикенит и шульцит (без As).

До последнего времени геокронит был известен лишь в зарубежных месторождениях: Сала и Фалун (Швеция), Сулительма (Норвегия), Пьетра-Санта (Италия), Кильбрикен (Ирландия) и в некоторых других и относился к редким сульфоантимонитам свинца (Минералы, 1960). Первые находки этого минерала в отечественных месторождениях сделаны в 1953 г. в забайкальских полиметаллических рудах (Полякова, 1957; Кузнецов, 1957, 1963), в которых геокронит оказался одним из главных рудообразующих минералов (месторождения: Смирновское, Екатерино-Благодатское). В последние годы геокронит был обнаружен также в месторождениях Казахстана (Митряева, 1961), Средней Азии (Дуброва, Филимонова, 1962), Горного Алтая (Васильев, Оболенский, 1966), Восточного Забайкалья (Тимофеевский, 1968). Все эти находки, в большинстве случаев значительные, резко меняют ранее сложившееся представление о геокроните как об исключительно редком сульфоантимоните свинца — они свидетельствуют о широком распространении этого минерала в полиметаллических рудах, содержащих некоторые количества сурьмы и мышьяка. Однако, несмотря на то что минерал этот установлен во многих месторождениях и известен уже более 120 лет, справочные сведения о нем недостаточно полные; так неизвестна атомная структура минерала, дискуссионной является химическая формула, разноречиво описаны некоторые физические свойства (спайность, характер агрегатов), весьма скудны сведения, характеризующие оптические свойства минерала в отраженном свете.

Наибольшее количество сведений о геокроните относится к области морфологии кристаллов, встречающихся в природе очень редко. Так, T. Kerndt (1845) и G. D' Achiardi (1901), сообщившие результаты гониометрических измерений, рассматривали геокронит, как минерал ромбический, однако более позднее рентгеноструктурное изучение монокристаллов, проведенное R. Douglass и др. (1954), доказывает моноклинную симметрию минерала с размерами решетки, очень близкими к иорданиту. Сульфоарсенит свинца, иорданит, согласно R. Douglass, изоструктурен с геокронитом.

Зернистые агрегаты геокронита детально не изучались, поэтому сведения о характере спайности, двойников в литературе отрывочны и разноречивы.

Автором изучались мелкозернистые образования геокронита, для которых выполнены химические анализы, определены удельные веса, твердость по микровдавливанию, спектры отражения. Спайность, которую удалось наблюдать в этих агрегатах, может быть оценена лишь как близкая к несовершенной, для минерала, чрезвычайно характерен неровный излом.

Свойства	Э.С. Дана, 1937	Дж.Д. Дэна и др., 1950	А.Г. Бетехтин, 1950	Минералы, 1960	П.Рамдор, 1962
Слайность	Сведения отсутствуют	По {011} - ясная, по {112} менее ясная	По (011) - ясная	По (170) и по (061)?	По (001) очень заметная
Двойники	Сведения отсутствуют	По {110}	Сведения отсутствуют	По (001) и возможно также по (101)	По (110) по (101)

Химический состав и формула

Химическая формула геокронита достоверно не установлена. Для этого минерала предложено 2 формулы: $5\text{PbS} \cdot (\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ (Дэна, 1950) и $27\text{PbS} \cdot 6(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ (Douglass, 1954). По мнению последнего, геокронит является промежуточным членом изоморфного ряда и содержит Sb и As в различных соотношениях; крайним мышьяковистым членом ряда, по-видимому, является иорданит, крайним сурьмянистым - шульцит.

С целью выяснения и уточнения формулы геокронита мы пересчитали 10 опубликованных в литературе химических анализов этого минерала (см. табл. II и III приложения).

Из табл. III видно, что на первую формулу $5\text{PbS}(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ удовлетворительно рассчитываются два анализа (2 и 8); в анализах 1, 4 и 5 наблюдается значительный избыток Pb и S, который частично может быть объяснен примесью галенита, существовавшего в анализированных образцах (известно, что геокронит, как правило, тесно ассоциирует с галенитом); в анализе 6 в значительном количестве содержится избыточный свинец, в то время как в анализах 7 и 9 избыточной является сера, причем, в анализе 7 этот избыток очень значителен ($\sim 2,5$ вес.%). Анализ 3 на формулу $5\text{PbS} \cdot (\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$ не рассчитывается - недостаток свинца здесь составляет $\sim 6,5$ вес.%, недостаток серы $\sim 1,0$ %. Именно на основании этого анализа Douglass и предложил для геокронита другую формулу $27\text{PbS} \cdot 6(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$. Однако пересчет анализа 3 на эту формулу также нельзя считать удовлетворительным - избыток свинца в этом случае составил $\sim 0,4$ вес.%, избыток серы $\sim 0,1$ %. Эти величины значительно превышают допустимые ошибки в определении элементов, поэтому вряд ли можно считать, что анализ 3 (а он единственный!) подтверждает формулу минерала $27\text{PbS} \cdot 6(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$.

Сводная таблица свойств геокронита

Химический состав и формула	$5 \text{PbS} \cdot (\text{Sb, As})_2 \text{S}_3$; часто преобладает сурьма	Теор. состав в вес %: при $\text{Sb} : \text{As} = 1:1$ Pb 69,62 Sb 8,07 As 5,05 S 17,26
Примеси *	Pb (часто до 0,1%); Ag, Bi, Sn, Cu, Fe	
Кристаллография	Монокл. с. $C_{2h}^2 - P2_1/m$ $a_0 = 8,98$ $b_0 = 31,91$ $c_0 = 8,497$; $\beta = 118^\circ 00'$; $Z = 6$ (Douglass, 1954)	
Блеск, цвет, черта	Непрозрачен, с металлическим блеском; цвет и черта светло-свинцово-серые	
Морфология *	Редко встречается в виде таблитчатых кристаллов; обычно - зернистые агрегаты, без преимущественного развития зерен в каком-либо одном направлении.	
Спайность	Несовершенная	
Двойники *	Очень распространены полисинтетические по (001), возможно также по (101)	
Твердость: по Моосу по микровдав- ливанию	2,5 130-170 *	
Удельный вес *	6,43-6,46	

* Здесь и далее в аналогичных таблицах звездочкой отмечены сведения, полученные или подтвержденные автором книги.

остальные девять анализов настолько далеко отстоят от этой формулы, что вероятность ее для геокронита может быть полностью исключена.

Таким образом, фактический материал по химическому составу геокронита, имеющийся в литературе, показывает, что для этого минерала более вероятной является формула $5\text{PbS} \cdot (\text{Sb, As})_2\text{S}_3$. Однако и она нуждается в уточнении, так как только два анализа (из десяти), рассчитываются вполне удовлетворительно; в остальных восьми анализах избыток или недостаток компонентов значительно превышает точность определений.

Наиболее характерными элементами-примесями в геокроните, как показали проведенные нами спектральные и химические исследования минерала, являются Pb , Ag , Bi , Sn (см. главу II). Постоянное присутствие Pb , обычно в количестве десятых долей %, позволяет рассматривать геокронит в числе главных минералов-концентраторов этого элемента.

906 Рентгенометрические данные

Дебаеграммы геокронита довольно четко отличаются от дебаеграмм других сульфантимонитов свинца (Приложение, табл. XIII), однако, они очень близки с дебаеграммой иорданита. Эти два минерала, имеющие и очень близкие оптические свойства, могут быть надежно индивидуализированы лишь с помощью химического анализа. Полная идентичность в картинах межплоскостных расстояний дебаеграмм, полученных нами для существенно сурьмянистого геокронита (обр. из Алайского хребта и месторождения Сала) и для иорданита с небольшим количеством сурьмы (обр. с месторождения Кочкарь, жила Зеленая, Приложение, табл. I) является следствием большой близости в параметрах решетки минералов и свидетельствует о существовании между этими крайними членами непрерывного изоморфного ряда. Главные линии рентгенограммы: 3,54(10) 3,06(9) 2,89(9) 2,24(9), 1,831(8).

Микроскопия

Оптические свойства. Отражательная способность геокронита довольно высокая — по общей светлоте минерал более других сульфантимонитов свинца близок к галениту. В цвете геокронита, как и других минералов группы, наблюдается нежный зеленоватый оттенок; двуотражение в воздухе очень слабое, отчетливо заметно лишь на границах двойников, в иммерсии усиливается, но остается слабым (рис. 1). В скрещенных николях геокронит отчетливо анизотропен (рис. 2) со слабыми цветными эффектами в темных блеклых тонах; угасание косое по отношению к двойниковым пластинам. Внутренние рефлексы не наблюдались.

Сведения разных авторов по измерениям коэффициентов отражения геокронита показаны на рис. 3 и в табл. 3. Спектры отражения, записанные на микроспектрофотометрах "Блеск" и "ПИОР", очень близки и характеризуют геокронит как минерал, очень близкий к галениту.

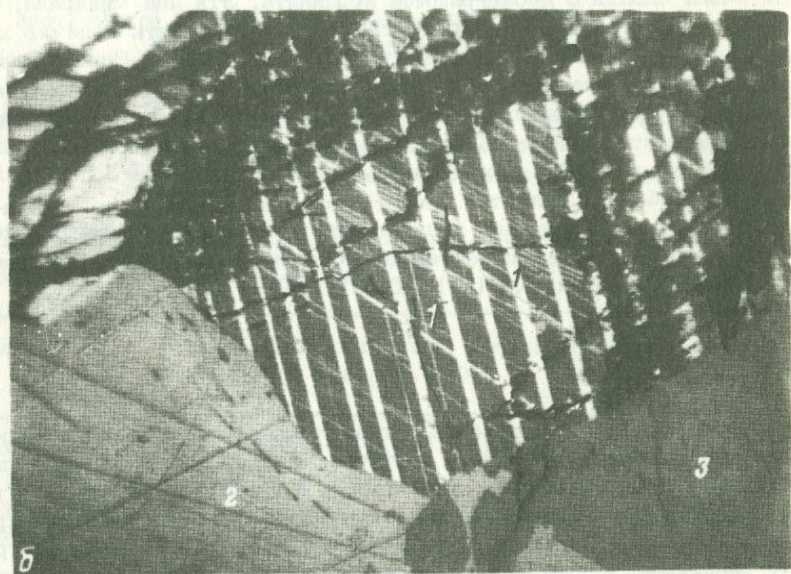


Рис. 1. Геокронит (1), галенит (2) и буланжерит (3) в контакте. Шлиф полированный, увел. 500, иммерсия; Алайский хребет
 а - без анализатора, б- в скрещенных николях

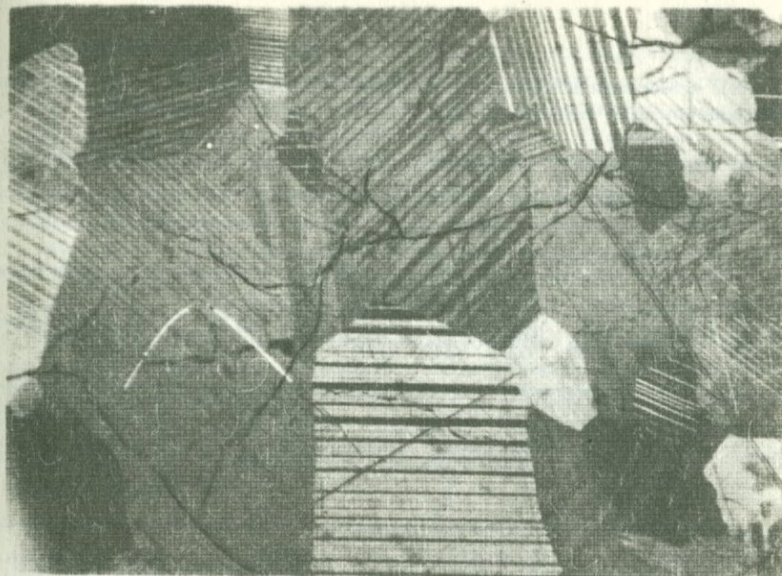


Рис. 2. Агрегат полисинтетически сдвойникованных зерен геокронита. Шлиф полированный, николи скрещены, увел. 150; Алайский хребет

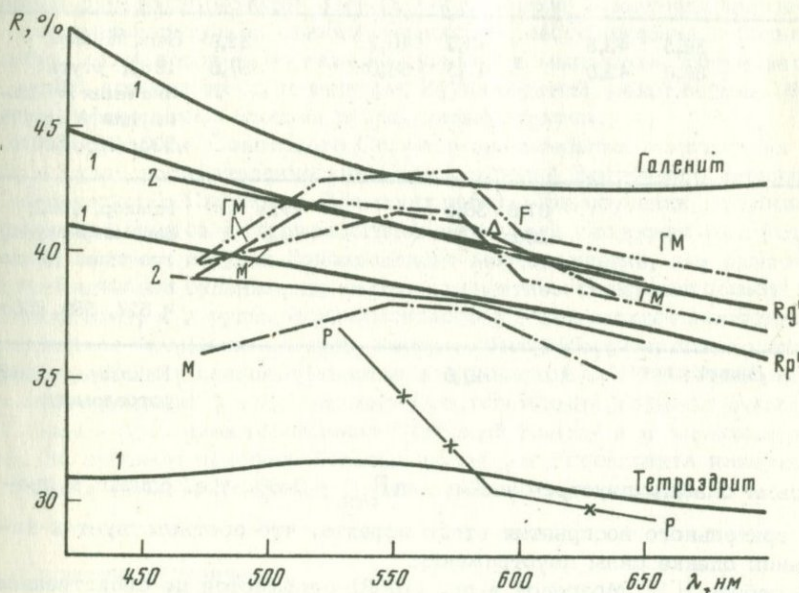


Рис. 3. Спектры отражения геокронита: 1 - "Блеск" (Екатерино-Благодатское, Приложение, табл. II, анализы 5, 6), 2 - "Пиор" (Вяльсов, 1969); литературные данные: М - Мозгова и др. (1968), ГМ - Gray, Millman (1962), P - Рамдор (1962), F - Folinsbee (1949)

Результаты измерения коэффициентов отражения геокронита
в интервале спектра $\lambda = 420-700$ нм

R, % $\Delta R_{\text{отн.}}$, доли ед.	420	460	500	540	580	620	660	700	Автор; прибор, эталон
R_g	44,6	43,4	42,3	41,2	40,1	39,4	38,6	37,8	Чвилева; "Блеск", кремний
R_p	41,0	40,1	39,5	38,9	38,1	37,7	36,6	35,7	
$\Delta R_{\text{отн}}$	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	
R_g		43,0		41,3	40,6		39,0		Вяльсов; "ПИОР", кремний; значе- ния R даны для $\lambda = 650$ нм
R_p		39,0		38,4	38,0		36,5		
$\Delta R_{\text{отн}}$		0,09		0,07	0,06		0,06		
R_g		39,5		41,6	41,2		38,3		Мозгова и др., 1968; значения R даны для $\lambda = 472; 550,$ 579, 640 нм
R_p		36,0		38,0	37,7		35,0		
$\Delta R_{\text{отн}}$		0,09		0,09	0,09		0,09		
R_g		39,5	42,8		43,2	40,7		38,9	Gray, Millman, 1962; ртуть значения R да- ны для $\lambda = 470,$ 520, 575, 600 нм
R_p		39,0	42,0		41,5	39,0		37,0	
R				37,0	30,5		29,5		Рамдор, 1962; фотометр-окуляр; значения R да- ны для $\lambda =$ = 527, 589, 656 нм
$R_{\text{ИММ}}$				26,0	22,0		19,5		
R	Белый свет			40,9					Folinsbee, 1949; фотоэлемент

с весьма слабым двуотражением: $\Delta R_{\text{отн.}} = 5-6\%$, т.е. близко к пре-
делу зрительного восприятия этого эффекта, что соответствует и ви-
зуальной оценке силы двуотражения.

В работе Н.Н. Мозговой и др. (1968) сообщается не свойственное
для геокронита, более значительное двуотражение ($\Delta R_{\text{отн.}} = 9\%$). Зна-
чения R, приводимые Рамдором, сильно занижены, что признает и
сам автор (Рамдор, 1962): они характеризуют геокронит как минерал,
близкий не к галениту, а к блеклой руде.

Механические свойства. Твердость по Талмейджу-В. По относительному рельефу принадлежит к I группе; рельеф отчетливо ниже, чем у галенита; Рамдор (1962) сообщает заметные колебания в рельефе в зависимости от химического состава. Полируется геокронит хорошо, несмотря на низкую (2,5) твердость. Твердость по микровдавливанию для образца геокронита из Алайского хребта 130-167 кгс/мм², для образца Екатерино-Благодатского месторождения - 95-140 кгс/мм². Н.М. Митряева (1961) для геокронита из месторождения Узунжал приводит твердость 140-170 кгс/мм².

Кристаллографические особенности. Форма зерен обычно округлая, неправильная, без преимущественного развития в каком-либо одном направлении. Для геокронита чрезвычайно характерно полисинтетическое двойникование, наблюдаемое в шлифах в форме многочисленных пластинок, одинаковых по ширине. Изредка наблюдается паркетовидное двойникование, подобное таковому у бурнонита. Слайность в шлифах нехарактерна.

Условия нахождения

Геокронит встречается чаще, чем это считалось до последнего времени ("Минералы", 1960) и может быть отнесен к числу распространенных сульфоантимонитов свинца. Он наиболее характерен для низко- и среднетемпературных свинцово-цинковых месторождений небольших глубин, руды которых обогащены сурьмой и мышьяком. Встречается в тесной ассоциации с галенитом, буланжеритом, менегинитом, бурнонитом, сфалеритом, блеклой рудой, халькопиритом.

На территории Советского Союза в значительных количествах встречен в рудах полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья (Смирновского, Екатерино-Благодатского). При изучении коллекций сульфоантимонитов в Минералогических музеях геокронит был установлен автором в рудах Запокровского месторождения, где ошибочно определялся как буланжерит; широким развитием геокронит пользуется, по-видимому, и в рудах Воздвиженского и Резановского месторождений, в керновом материале которых автором был обнаружен только этот сульфоантимонит свинца. Известен в Армянской ССР (Азатекская группа месторождений), в Казахстане (месторождения Узунжал, Бестюбе), в Средней Азии (месторождения Северный Кантау и в Алайском хребте). За рубежом наиболее богатые проявления геокронита известны в Швеции (Сала), Норвегии, Италии, США, Чехословакии.

Сходство и отличия

От других сульфоантимонитов свинца геокронит отличается наиболее высоким удельным весом, изометричной формой выделений, постоянной ассоциацией с галенитом. При изучении микровключений определению геокронита способствуют двойники, чрезвычайно характер-

ные для этого минерала, и наиболее слабое двуотражение. Индивидуальной является также дебаеграмма геокронита, не отличающая, однако, этот минерал от изоструктурного с ним иорданита.

Изученный материал¹

- Сульфосоль. Практически мономинеральные выделения геокронита в кварце. Алайский хребет, Средняя Азия; обр. В.П. Федорчука.
- Сульфосоль. Геокронит в тесной ассоциации с галенитом и буланжеритом в кварце. Алайский хребет, Средняя Азия; обр. В.П. Федорчука.
- Геокронит. Геокронит в тесном сростании с галенитом, блеклой рудой, пиритом и кварцем. Екатерино-Благодатское, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 61117.
- Геокронит. Геокронит в ассоциации с галенитом и сфалеритом в карбонате. Екатерино-Благодатское, Восточное Забайкалье; обр. В.П. Гончарова.
- Геокронит. Геокронит в тесной ассоциации с галенитом и сфалеритом. Благодатское, Восточное Забайкалье; обр. В.П. Зашихина.
- Сульфосоль. Прожилки и гнезда геокронита обычно с галенитом и сфалеритом в карбонате, иногда в пирите. Воздвиженское, Восточное Забайкалье; обр. Горно-Зерентуйской экспедиции.
- Сульфосоль. Резановское, Восточное Забайкалье; обр. Горно-Зерентуйской экспедиции.
- Буланжерит. Мелкозернистый геокронит в тесной ассоциации с галенитом, светло-окрашенным сфалеритом и пиритом в кварце. Запокровское, Восточное Забайкалье. Горный музей, Ленинград; обр. 136/14 и 136/15.
- Гюйтерманит. Смирновское, Восточное Забайкалье. Горный музей, Ленинград; обр. 147/2.
- Геокронит. Сала, Швеция. Горный музей, Ленинград; обр. К-144/1, К-144/2, 154/1.
- Геокронит. Рудняны, Чехословакия; обр. В.П. Федорчука.
- Иорданит. Практически мономинеральный образец крупнозернистого иорданита с редкими участками только микроскопически обнаруженного галенита. Кочкарь, Урал; обр. В.И. Степанова (описан в работах С.С. Смирнова, 1925, 1927).

¹Здесь и далее в перечне изученных образцов сохранены названия, имевшиеся в этикетках музеев или у исследователей, от которых был получен каменный материал.

Игольчатые сульфoантимониты свинца с отношением $PbS:Sb_2S_3 = 3,7:1 - 1,33:1$

Менегинит

Общие сведения

Принято считать, что первые сведения о менегините относятся к 1852 г. (Минералы, 1960; Bechi, 1852); в этом году в рудах месторождения Боттино (Италия) минералогом Менегини был описан сульфoантимонит свинца, названный его именем. Однако в действительности, как установлено автором (Чвилева, 1973), этот сульфoантимонит был известен значительно раньше, но именовался "эмбрититом" и "плюмбостибом". В настоящее время названия "эмбритит" и "плюмбостиб" по исторически сложившемуся недоразумению относят к синонимам буланжерита (Дана, 1937; Дж.Д. Дэна и др., 1950; Минералы, 1960; Смирнов, 1955).

"Эмбрититом" и "плюмбостибом" были названы в 1837 г. Брейтгауптом изученные им образцы сульфoантимонитов свинца из Алгачинских месторождений (Восточное Забайкалье) - (Breithaupt, 1837). И хотя длительный период (до 1904 г.) эмбритит и плюмбостиб рассматривались в качестве самостоятельных минеральных видов (Frenzel, 1870; Groth, 1898), результаты изучения алгачинских образцов и в особенности данные Френцеля по химическому составу их являлись предметом обсуждения как в зарубежной, так и в нашей отечественной печати. Наряду с мнениями о самостоятельности этих минералов (Болдырев, 1926; Иванов, 1936) имелись и мнения о принадлежности алгачинских образцов к буланжериту (Hinze, 1904; Groth, 1921). Лишь после 1947 г., когда С.С. Смирновым, занимавшимся изучением полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья, была опубликована детальная минералогическая сводка по этим месторождениям, эмбритит и плюмбостиб были окончательно признаны синонимами буланжерита (Смирнов, 1955).

Занимаясь систематическим изучением коллекций сульфoантимонитов свинца в музеях, автор среди образцов алгачинских руд, числившихся буланжеритом, обнаружил значительное количество практически мономинеральных образцов менегинита; для одного из таких образцов (№ 27891) была найдена старая этикетка, по которой минерал именовался "плюмбостибом". Таким образом, история диагностики этого образца показывает, что наименование "плюмбостиб" первоначально было присвоено не буланжериту, а минералу, позднее вторично открытому (в 1852 г.) и названному менегинитом.

В отношении образцов Брейтгаупта в литературе отсутствуют достаточно полные сведения для безусловного отнесения их к определенному минеральному виду, кроме результатов химических анализов, выполненных Френцелем. Пересчеты химических анализов Френцеля и сопоставление их с теоретическими составами менегинита и буланжерита и с анализами, выполненными в ходе настоящего исследования, показывают близкое соответствие фактических данных Френцеля составу менегинита (см. Приложение, табл. IV и V).

Таким образом, в действительности менегинит ведет свое начало не с 1852 г., когда он был описан в рудах месторождения Тоскана, а с 1837 г., когда этому минералу, обнаруженному в алгачинских рудах Восточного Забайкалья, Брейтгауптом были даны наименования "плюмбостиба" и "эмбритита". Название менегинит, укрепившееся за минералом, изменять, по-видимому, нецелесообразно; однако, с целью восстановления истины и для разрешения исторически сложившегося недоразумения "эмбритит" и "плюмбостиб" следует считать синонимами менегинита. До сих пор синонимов менегинита известно не было.

Находки плюмбостиба и эмбритита практически ограничиваются нерчинскими рудами. Ни в одном из зарубежных месторождений эти минералы описаны не были. В месторождениях Советского Союза плюмбостиб был указан еще только в одном месте — в Нагольном Кряже (Иванов, 1936). Однако сообщаемые Л.Л. Ивановым неполные сведения о минерале недостаточны для однозначного определения его. По всей вероятности, в данном случае плюмбостибом был назван буланжерит, который позднее был достоверно установлен в этом месторождении и имеет в рудах Нагольного Кряжа широкое распространение (Юшко, 1948; Якжин, 1952).

Менегинит до настоящего времени считался редким сульфоантимонитом свинца (Минералы, 1960; Рамдор, 1962; Дуброва и Филимонова, 1962). Богатые скопления минерала были известны, главным образом, в месторождении Боттино (Италия). К материалу именно этого месторождения относится большая часть детальных исследований, выполненных для менегинита. Другие, менее значительные проявления этого минерала отмечены в месторождении Тауншип (Онтарио, Канада), в районе Шварценберга (Саксония, ГДР) и в Финляндии. В месторождениях Советского Союза отмечались лишь микроскопические находки менегинита, не всегда убедительно доказанные. Таким образом, сведения, имеющиеся в литературе (Berry, Moddle, 1941; Минералы, 1960; Рамдор, 1962; Euler, Hellner, 1960): кристаллографические, рентгеноструктурные, по химическому составу, оптической характеристике относятся к несомненному материалу из Боттино (Италия). Однако несмотря на то, что изучались во многих случаях образцы из одного и того же месторождения, результаты нередко не совпадали. Так, до последнего времени дискуссировались химический состав и формула минерала (Минералы, 1960; Рамдор, 1962), предлагались различные параметры кристаллической решетки (Berry, Moddle, 1941; Euler, Hellner, 1960), по разному оценивались спайность, удельный вес (Euler, Hellner, 1960). Наиболее достоверными представляются результаты Berry, Moddle (1941), проводивших рентгеноструктурные и оптические исследования, а также Euler, Hellner (1960), расшифровавших атомную структуру минерала. Параметры решетки, удельный вес, химический состав, вычисленные Euler, Hellner, хорошо согласуются с прямыми определениями этих свойств. Изучение распределения меди в менегините с помощью электронного микроанализатора (Fredriksson, Andersen, 1964) подтверждает химический состав минерала, выражаемый формулой $26 \text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot 7 \text{Sb}_2\text{S}_3$ (формула Berry, Moddle, 1941).

В процессе работы с коллекциями сульфoантимонитов в минералогических музеях автором был изучен классический менегинит (призматические кристаллы) из месторождения Боттино, а также несколько образцов менегинитов, обнаруженных в коллекциях буланжеритов из руд алгачинских месторождений (см. раздел "Изученный материал"). В обнаруженных образцах менегинит наблюдается не в виде микроскопически малых выделений, а образует сплошные почти мономинеральные агрегаты, которые свидетельствуют, что этот сульфoантимонит свинца в полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья не является минералогической редкостью. Отсутствие упоминания о нем в этих рудах обязано, как установлено автором, ошибкам, возникавшим при диагностике (Безсмертная, Чвилева, 1967; Чвилева, 1973). Вполне возможно, что распространение менегинита в Восточном Забайкалье не ограничивается только алгачинскими месторождениями. В рудах Третье-Спасского и Корниловского приисков, Калгинского рудника С.С. Смирновым (1934) был отмечен (но, к сожалению, совсем не описан) "своеобразный купробуланжерит", тесно ассоциирующий с галенитом. Представляется интересным проведение детальных исследований вещественного состава руд этих месторождений. В связи с новыми находками менегинита кажется разумным предположить, что выделенная среди буланжеритов Восточного Забайкалья медьсодержащая разновидность этого минерала в действительности является менегинитом.

Химический состав и формула

Химическая формула менегинита до последнего времени считалась дискуссионной. Разногласия исследователей сводились в основном в оценке меди в анализах менегинита. Так, Palach и Richmond (1938) принимали формулу $Pb_{13}Sb_7S_{23}$, полагая, что наличие меди в анализах обязано механическим примесям. Вхождение меди в состав минерала было подтверждено путем микрoхимических испытаний на кристаллах из Боттино (Шорт, 1934), а также на материале из других месторождений (Berry, Moddle, 1941). Робинсон (1950), также считавший менегинит медьсодержащим минералом и не обнаруживший при экспериментальном исследовании системы Pb-Sb-S фазы менегинита, объяснял это обстоятельство отсутствием меди в системе. Формула $Cu_2S \cdot 1/26 PbS \cdot 7/23 Sb_2S_3$, предложенная Berry, Moddle (1941) на основании пересчетов химических анализов и сопоставления измеренных и вычисленных удельных весов, подтверждена также и новейшими исследованиями по расшифровке атомной структуры минерала (Eudler, Hellner, 1960) и по изучению химического состава менегинита с помощью электронного микроанализатора (Fredriksson, Andersen, 1964). Новые химические анализы, выполненные в химической лаборатории ИМГРЭ на образцах из месторождения Боттино (обр. 152/1 и 47977) и из Алгачинских месторождений (обр. 136/12 и 33019) хорошо согласуются с формулой Berry, Moddle (см. Приложение, табл. IV, V).

Сводная таблица свойств менегинита

Химический состав и формула	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot 26\text{PbS} \cdot 7\text{Sb}_2\text{S}_3$	Теор. состав в вес. % Cu 1,45 Pb 61,51 Sb 19,47 (Berry, S 17,57 Moddle, 1941)
Примеси*	Ag, Fe, Sn, иногда As	
Кристаллография	Ромб. с; $C_{2V}^7 - Pmm2_1$; $a_0 = 11,363$ $b_0 = 24,057$ (Euler, Hellner, 1960) $c_0 = 99,077$	
Блеск, цвет, черта	Непрозрачен, блеск металлический, цвет свинцово-серый, довольно светлый, черта черная, блестящая	
Морфология*	Кристаллы призматическостолбчатые, удлиненные по оси С, с вертикальной штриховкой; часто агрегаты короткопризматических зерен.	
Спайность*	По (010) совершенная, по (001) менее совершенная; хорошо заметна в отдельных кристаллах	
Двойники	Установлены не вполне определенно (Рамдор, 1962)	
Твердость 1) по Моосу 2) по микровдавливанию	1) 2,0-3,0 2) 140-179*	
Удельный вес	6,3-6,43 (вычисл. 6,44; Berry, Moddle, 1941)	

* См. табл. 2.

Кроме основных компонентов, входящих в формулу минерала, спектральным анализом в менегините устанавливаются элементы-примеси — серебро, железо, олово и иногда мышьяк (см. главу II). Серебро, как и во всех других минералах группы, присутствует постоянно в количествах 0,005–0,1%, не достигая, однако, в менегините самых высоких для минералов группы концентраций. Олово и в особенности железо также являются постоянными примесями в менегините, мышьяк же обнаружен лишь в некоторых алгачинских образцах (0,005–0,01%).

Редкие элементы плеяды индия в менегините практически отсутствуют. Литературные сведения в отношении высоких концентраций таллия в этом сульфоантимоните (Иванов, 1966; Кузнецов, Мейтун, 1967) нуждаются в проверке, так как они могли возникнуть вследствие ошибочной диагностики минерала.

Рентгенометрические данные

Дебаеграмма менегинита индивидуальна, главные линии: 3,71(9); 3,30(10); 2,92(8); 2,08(5); 1,99(5) — Berry, Thompson, 1962.

Микроскопия

Оптические свойства. В отраженном свете менегинит, как и другие сульфоантимониты свинца, отчетливо зеленоватый; цвет минерала особенно очевиден в контакте с галенитом. Интенсивность отражения меняется в зависимости от сечений: в самых светлых положениях менегинит подобен галениту, в темных — заметно темнее. Эффект двуотражения сильный — отчетливо проявляется не только в агрегате разноориентированных зерен (рис. 4, 5), но и в монокристалльных выделениях — в галените. В скрещенных николях сильно анизотропен (рис. 5, б), погасание близкое к прямому. Внутренние рефлексы красные, заметны лишь при наблюдении порошка минерала с иммерсией или в тончайших сколах по слайдности. В инфракрасном свете хорошо просвечивает.

Результаты количественных определений коэффициентов отражения менегинита показаны в табл. 5 и на рис. 6.

Спектры отражения, полученные на приборах "Блеск" и "Пиор" (в общем близкие), характеризуют менегинит, так же как и визуальные наблюдения, как сильно двуотражающий минерал с интенсивностью отражения в светлых положениях равной галениту; $\Delta R_{\text{отн}}$ согласно

этим измерениям, определяется в 18% (при $\lambda = 589$ нм). По данным Н.Н. Мозговой и др. (1968), менегинит должен быть во всех сечениях заметно темнее галенита и иметь умеренное (не сильное!) двуотражение. Эти сведения противоречат наблюдаемым оптическим эффектам минерала. По данным Bignol, Picot (1965) характер кривых аналогичен нашим, но абсолютные значения R и в высоких и в низких положениях нам представляются несколько завышенными, сила двуотражения — заниженной.

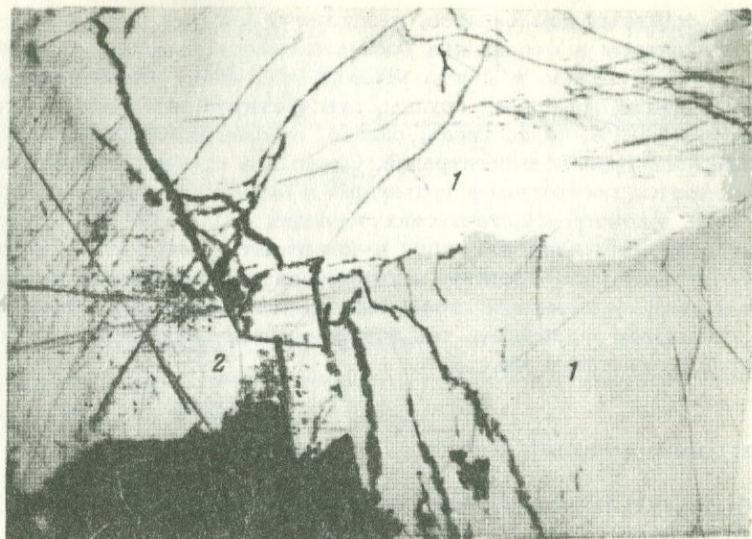


Рис. 4. Менегинит (1) с галенитом (2). Шлиф полированный николи параллельны, увел. 150; Алгачи, Восточное Забайкалье (обр. 136/12 Горный музей)

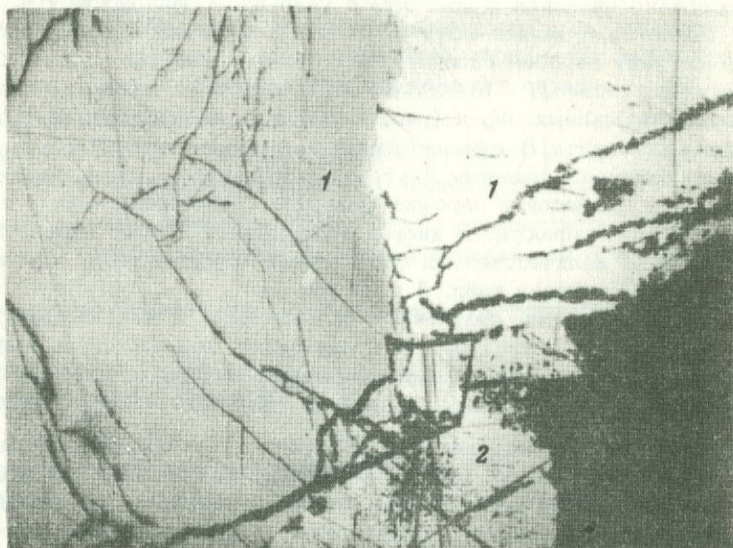


Рис. 4^a. То же, в положении, повернутом на 90° . В менегините отчетливо заметно двуотражение

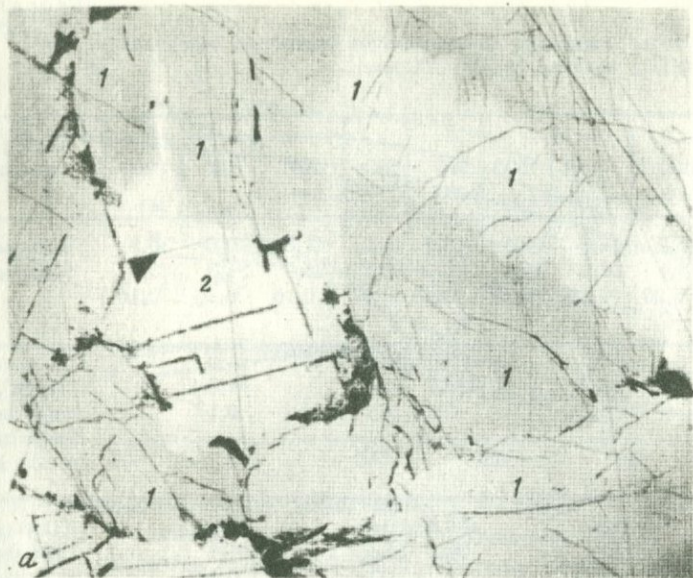


Рис. 5. Менегинит (1) с галенитом (2). Шлиф полированный, увел. 150;
 Алгачи, Восточное Забайкалье (обр. 136/12, Горный музей)
 а - без анализатора, б - в скрещенных николях

Результаты измерения коэффициентов отражения менегинита
в интервале спектра $\lambda = 420-700$ нм

R % $\Delta R_{\text{отн.}}$ доли ед.	420	460	500	540	580	620	660	700	Автор; прибор, эталон
R_g	45,2	44,6	44,3	43,9	42,9	41,8	40,6	39,7	Чвилева, "Блеск", кремний
R_p	36,4	36,5	36,5	36,2	35,6	35,0	34,3	33,9	
$\Delta R_{\text{отн}}$	0,20	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	
R_g	45,0		45,1		44,4	41,8		Вяльсов, 1969; "Пиор", крем- ний; значения R даны для $\lambda =$ $= 650$ нм	
R_p	35,5		36,5		36,5	34,9			
$\Delta R_{\text{отн}}$	0,21		0,19		0,18	0,17			
R_g	40,9		40,5		39,4	38,2		Мозгова и др., 1968; значения R даны для $\lambda =$ $= 472, 550, 579,$ 640 нм	
R_p	36,4		36,0		35,2	34,4			
$\Delta R_{\text{отн}}$	0,11		0,11		0,11	0,10			
R_g	46,7		45,9		45,6	43,0		Bimol, Picot 1965; значения R даны для $\lambda = 480, 640$ нм	
R_p	40,7		40,0		39,6	38,6			
$\Delta R_{\text{отн}}$	0,13		0,13		0,13	0,10			
R_g	41,8		42,7	42,1		40,7	40,3		Gray, Millman, 1962; ртуть; значения R даны для $\lambda =$ $= 470, 520, 575,$ 600 нм
R_p	40,2		39,9	37,3		36,0	35,5		
$R_{\text{имм}}$				29,5		26,0	24,5		
R	Белый свет			37,7			Folinsbee, 1949; фотоэлемент		

Механические свойства. Твердость по Талмейджу-С. Значения твердости по микровдавливанию находятся в пределах $139-179$ кгс/мм² (ПМТ-3, 20 г). По относительному рельефу принадлежит I группе, рельеф ниже, чем у галенита. Полируется хорошо, однако царапины от шлифования удаляются с трудом.

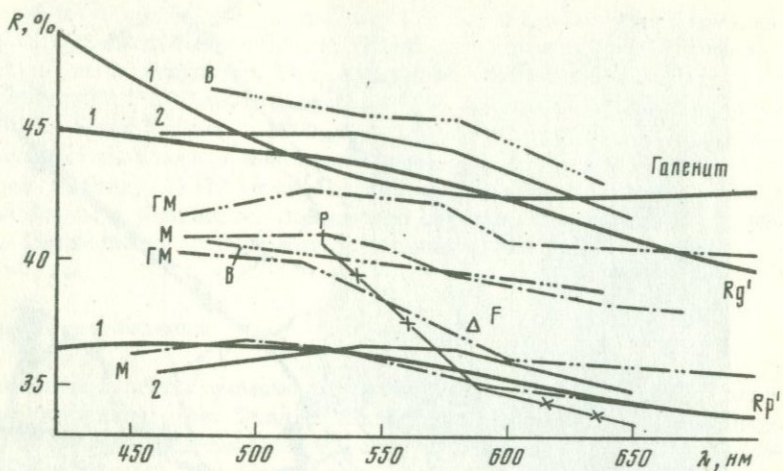


Рис. 6. Спектры отражения менегинита: 1 - "Блеск" (Алгачи, приложение, табл. I, анализ 8), 2 - "ПИОР" (Вяльсов, 1969); литературные данные: М - Мозгова и др. (1968); В - Burnol, Picot (1965), ГМ - Gray, Millman (1962), P - Рамдор (1962), F - Folinsbee (1949)

Кристаллографические особенности. Сечения минерала имеют обычно удлиненную форму. Спайность в полированных шлифах обнаруживается редко (рис. 7); в прозрачно-полированных шлифах при исследованиях в инфракрасном свете наблюдается в двух направлениях: хорошая по длине призматических зерен (010) и слабая (близкая к несовершенной) по (001) (рис. 8). Еще более отчетливо это свойство менегинита, как и у других сульфoантимонитов свинца, проявляется микроскопически. Характер спайности сульфoантимонитов, как это установлено настоящим исследованием, может быть привлечен в качестве вспомогательного диагностического свойства при определении минералов группы. В отношении сведений о спайности менегинита в справочниках нет достаточной четкости.

Свойство	Э.С. Дана, 1937	Дж.Д.Дэ-на и др., 1950	А.Г.Бегеттин, 1950	Минералы, 1960	П.Рамдор, 1962
Спайность	Сведений нет	По {010} - совершенная, по {001} - несовершенная	По (010)	По (010) - совершенная, по (001) - менее совершенная	По (010) - совершенная, по (001) - слабая

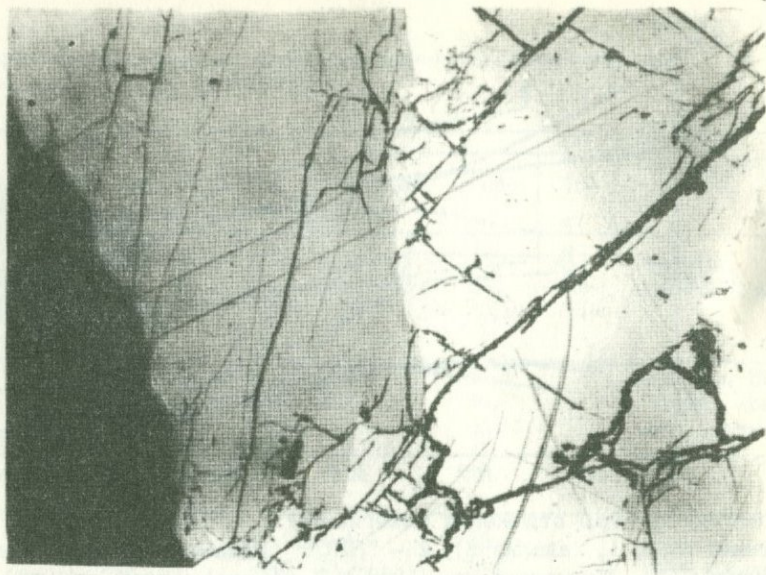


Рис. 7. Слайнность в менегините. Шлиф полированный, николи параллельны, увел. 150; Алгачи, Восточное Забайкалье (обр. 136/12, Горный музей)

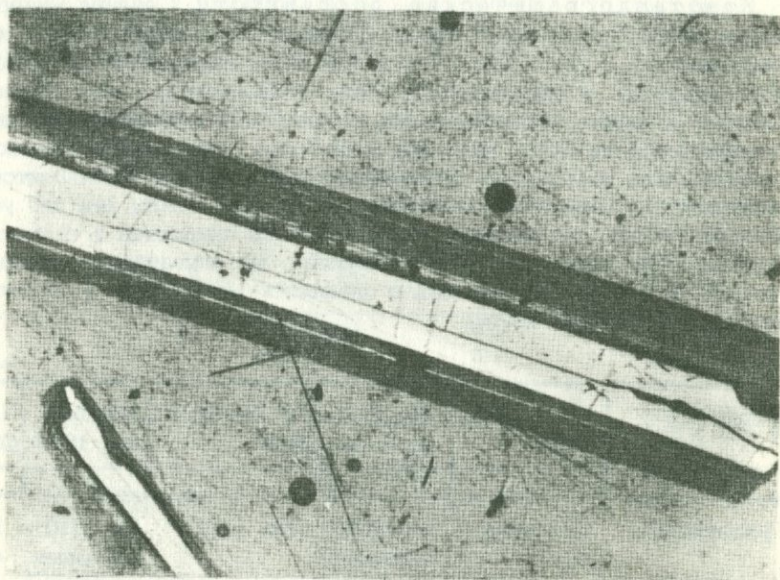


Рис. 8. Призматический кристалл менегинита с вертикальной штриховкой и трещинкой слайнности, параллельной удлинению. Шлиф прозрачно-полированный, свет отраженный, николи параллельны, увел. 50; обр. 152/1 (Горный музей), Боттино, Италия

Согласно наблюдениям автора, спайность по длине призматических зерен (010) может быть оценена скорее как хорошая; она обусловлена наличием в структуре минерала более тесно связанных между собой областей Pb-S, простирающихся в направлении второго пинакоида (010) — Euler, Hellner, 1960. В направлении третьего пинакоида (001) спайность ближе к несовершенной.

Уорен (Warren, 1947) отмечает хорошо заметное двойникование под прямым углом к спайности. Зонального строения не наблюдалось. Известны "мирмекиты" с бурнонитом, халькопиритом, сфалеритом.

Условия нахождения

В течение долгого времени менегинит рассматривался как редкий сульфoантимонит свинца. Однако такое представление о распространенности минерала не соответствует действительности, а обязано ошибкам, происходившим при диагностике. До последнего времени менегинит был известен лишь в ряде зарубежных месторождений (Боттино, Италия, самый богатый материал; Тауншип, Онтарио, Канада; в ГДР; в Финляндии). В Советском Союзе достоверные находки его были сделаны в 1962 г. в месторождении Северный Кантау (Средняя Азия), где минерал образует микроскопически малые выделения в тесной парагенетической ассоциации с галенитом и геокронитом (Дуброва, Филимонова, 1962). Других достоверных описаний менегинита в месторождениях Союза не было. Образцы с месторождения Дарасун, числившиеся в музеях менегинитами (Зенков, 1940), в действительности, как показали наши исследования, являются буланжеритами (обр. 50133, музей АН СССР, Москва; обр. 1233, музей Политехнического института, Иркутск). И вместе с тем, обнаруженные в процессе настоящего исследования сплошные, массивные образцы, менегинитов в коллекции буланжеритов, свидетельствуют о том, что этот минерал не является минералогической редкостью, а представляет собой, по-видимому, довольно обычный сульфoантимонит свинца (может быть, даже не менее обычный, чем буланжерит) в полиметаллических рудах Восточного Забайкалья. Сделанные нами находки менегинитов заставляют настороженно относиться к сведениям в отношении минералогии сульфосолей свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья и в особенности в отношении описаний буланжерита. Определенная близость многих свойств менегинита и буланжерита, а также общая для обоих минералов тесная ассоциация с галенитом способствовали тому, что менегинит нередко ошибочно принимался за более известный буланжерит. Ошибка подобного рода помимо алгачинских руд описана для Северо-Акатуевского месторождения (Мозгова и др., 1966). Представляется интересным также детальное исследование "купробуланжерита", указанного С.С. Смирновым (1934) в рудах Третье-Спасского и Корниловского приисков, Калгинского рудника.

Таким образом, есть основания полагать, что менегинит, рассматривавшийся до настоящего времени как редкий сульфoантимонит свинца

ца, окажется довольно обычным минералом в низко- и среднетемпературных свинцово-цинковых месторождениях. Подобные коррективы в представления о распространенности менегинита вносят также появляющиеся в последнее время сообщения в печати о новых открытиях этого минерала в рудах зарубежных месторождений (Kingsbury, 1965).

Во всех известных к настоящему времени месторождениях менегинит, этот наиболее богатый свинцом сульфоантимонит, всегда наблюдается с галенитом, в тесной ассоциации, свидетельствующей об одновременности или большой близости по времени выделения этих двух минералов. Очень характерными минералами — спутниками менегинита являются также геокронит, бурнонит, халькопирит, сфалерит. Постоянная приуроченность менегинита к существенно галенитовым образованиям позволяет рассматривать этот минерал как типоморфный сульфоантимонит свинца низко- и среднетемпературных полиметаллических месторождений (или руд). Типичной провинцией широкого проявления менегинита в Советском Союзе является Восточное Забайкалье.

Сходство и отличия

В современных справочниках по минералогии и минераграфии указано, что менегинит без рентгенометрических данных и результатов полного химического анализа не отличим от цинкениита, буланжерита и джемсонита. Действительно, химический анализ во всех случаях является наиболее надежным средством отличия минералов. Вместе с тем, при некотором навыке менегинит в большинстве случаев может быть правильно определен уже при макроскопическом изучении.

Наиболее трудно отличить менегинит от буланжерита. Эти два минерала сближает не только сходство ряда свойств, но также и общая для обоих, тесная ассоциация с галенитом. Однако уже при макроскопических исследованиях и именно на этом этапе изучения минералов, привлекает внимание своеобразный облик агрегатов менегинита с менее совершенной, чем у буланжерита, спайностью по длине короткопризматических зерен.

От джемсонита менегинит отличает постоянная ассоциация с галенитом и отсутствие (у менегинита) четко выраженной поперечной спайности (см. джемсонит). Высокий удельный вес менегинита (6,4) также помогает отличить минерал от буланжерита (6,2) и в особенности от джемсонита (5,7).

Проще, чем от других сульфоантимонитов, менегинит отличается от цинкениита. Для цинкениита весьма характерным является нахождение в антимонитовых рудах, в которых отсутствует галенит, менегинит же постоянно встречается только в тесной ассоциации с галенитом; кроме того, цинкениит отличает от менегинита отсутствие спайности и низкий удельный вес (5,3).

Диагностика менегинита только на основании оптических свойств в полированных шлифах, несмотря на имеющиеся отличия в характере дисперсии R и двуотражения менегинита, буланжерита и джемсонита, пока недостаточно надежна.

В отличие от других сульфoантимонитов свинца менегинит дает хорошую положительную реакцию при микрохимических испытаниях на медь с двойной роданистой солью калия и ртути.

Изученный материал¹

Менегинит. Одиночные призматические, иногда изогнутые кристаллы с вертикальной штриховкой. Очень редко в сростках с менегинитом галенит, сфалерит, халькопирит. Боттино, Италия; Горный музей, Ленинград; обр. 152/1, К-142/1.

Менегинит. Агрегат призматических, часто сильно изогнутых кристаллов с вертикальной штриховкой в ассоциации с галенитом, сфалеритом, халькопиритом. Боттино, Италия; Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47977, 47978.

Буланжерит. Сплошной агрегат короткопризматических зерен в ассоциации с галенитом, геокронитом и блеклой рудой. Нерчинский округ, Восточное Забайкалье; Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 33019.

Буланжерит. Сплошной агрегат короткопризматических зерен в ассоциации с галенитом и сфалеритом. Шубинский прииск, Восточное Забайкалье; Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 2789.

Буланжерит. Среднезернистый агрегат с редкой вкрапленностью галенита, халькопирита, пирита. Алгачи, Восточное Забайкалье; Горный музей, Ленинград, обр. 136/12.

Буланжерит. Агрегат короткопризматических зерен менегинита в ассоциации с галенитом, халькопиритом, пиритом и самородным серебром в кварце. Шубинский прииск, Алгачи, Восточное Забайкалье; Горный музей, Ленинград, обр. 136/2, 136/4.

Несколько образцов, находившихся в музее АН СССР (Москва) в коллекции менегинитов, в действительности оказались антимонитами (обр. 58120, 57674, месторождение Дарасун) и буланжеритами (обр. 50133 и 1233, Дарасун).

Буланжерит и джемсонит

Общие сведения

Буланжерит и джемсонит являются широко распространенными минералами в группе сульфoантимонитов свинца. Они известны уже около 150 лет. Первые находки джемсонита были сделаны в 1825 г., буланжерита - в 1837 г. (Thaulow, 1837). Оба минерала неоднократно являлись объектами не только минералогических, но специальных прикладных исследований, благодаря чему в литературе накопился довольно обширный материал, характеризующий условия нахождения минералов в природе, а также диагностические свойства их. Однако использование имеющегося материала оказывается не всегда возможным, так как сведения различных авторов во многом противоречивы.

¹ См. примечание к изученному материалу по геокрониту.

Источником противоречий является главным образом то обстоятельство, что буланжерит и джемсонит в минералогической практике до сих пор систематически путают. Об этом с очевидностью свидетельствует состояние коллекций этих минералов в музеях. Так, в музее АН СССР, наиболее богатом отечественном собрании сульфоантимонитов, среди образцов с этикеткой "буланжерит" немногим менее половины в действительности являются джемсонитами и в то же время около 1/3 всех образцов "джемсонитов" представлены буланжеритами. Примерно аналогичная картина в коллекции этих минералов обнаружена нами и в Горном музее. Такая же путаница была установлена Вергу в коллекциях музеев Соединенных Штатов и Канады; так, из 23 изученных образцов, принадлежность которых к буланжериту была доказана Берри рентгенометрическими исследованиями, этикетку буланжерита в музеях имели только 9 образцов, 11 числились джемсонитами и 3 образца носили названия эпibuланжерита, геокронита и антимонита (Вергу, 1940).

Такая путаница с идентификацией буланжерита и джемсонита обусловлена, несомненно, определенным сходством их внешних физических свойств и в особенности оптических свойств, наблюдаемых в полированных шлифах. Начало путанице в определении этих двух минералов было положено, как нам представляется, очевидно, попытками диагностировать их в полированных шлифах именно на основании оптических свойств; чрезвычайно близкие оптические свойства анизотропных минералов, не поддающиеся надежному разграничению, и могли явиться причиной ошибочных определений самих минералов. При подобных ошибках физические свойства, характеризующие буланжерит, приписывались джемсониту и, наоборот, в результате чего существующие различия и в этих свойствах также оказались смазанными, физические свойства потеряли свою индивидуальность. Буланжерит и джемсонит поэтому, подобно некоторым теллуридам, калавериту и креннериту, например (Безсмертная и др., 1969), представляют в минералогической литературе случай чрезвычайно запутанных характеристик. Сведения об этих минералах настолько противоречивы, что совершенно исключают возможность использования их в диагностических целях; единственными надежными критериями правильного определения их до сих пор являлись полные химические анализы и результаты рентгенометрических исследований.

В связи с имевшими место систематическими ошибками в определениях буланжерита и джемсонита, представляется наиболее целесообразным дать совместное обсуждение и описание свойств этих минералов.

В процессе работы было выяснено, что внешние физические свойства минералов, которым не придавалось диагностического значения, индивидуальны для буланжерита и джемсонита; правильная оценка этих свойств имеет принципиальное значение, так как чрезвычайно облегчает диагностику минералов, позволяя надежно различать их еще в штуде. Поэтому в отличие от описаний других минералов, обсуждению внешних физических свойств мы уделяем значительное место, отводя им самостоятельный раздел.

Сводные таблицы свойств, которые во всех случаях мы приводили перед описанием минералов, в связи с путаницей сведений о буланжерите и джемсоните, сообщаются после обсуждения физических признаков.

Химический состав и формулы минералов

Буланжерит. Минерал назван по имени французского горного инженера Буланже (Boulanger, 1835; Thaulow, 1837). Позднейшими исследованиями (Robinson, 1948; Хиллер, 1955; Костов, 1957) установлено, что плюмосит, фалькманит, эцибуланжерит, мулланит и иенерит, описанные ранее как самостоятельные минеральные виды, идентичны с буланжеритом.

Химические составы образцов буланжеритов из различных месторождений, как можно видеть из таблиц VI и VII Приложения, довольно постоянны и почти точно отвечают формуле $Pb_5Sb_4S_{11}$, которую можно считать твердо установленной для этого минерала. Анализы первых находок буланжерита были выполнены Boulanger, который на основании своих данных предложил формулу $3PbS \cdot Sb_2S_3$ (1835). Эта формула была подтверждена Thaulow (1837), Hausman (1839), Rammelsberg (1839, 1846, 1875) и другими. Однако Sjögren (1897) на основании данных анализа буланжерита из месторождения Сала в Швеции (аналитик Маузелиус) рассчитал формулу $5PbS \cdot 2Sb_2S_3$ или $Pb_5Sb_4S_{11}$. Он же показал, что эта формула лучше, чем предложенная Boulanger, отвечала и составу многих ранее проанализированных образцов буланжеритов. Формула Sjögren ($5PbS \cdot 2Sb_2S_3$) вскоре (1918, 1921 гг.) была подтверждена несколькими новыми анализами Shannon (1920). Анализы многочисленных, более поздних находок буланжерита и в том числе наших отечественных месторождений хорошо рассчитываются на эту формулу. Эмпирическая формула буланжерита $5PbS \cdot 2Sb_2S_3$ подтверждена также рентгеноструктурными исследованиями Berry (1940); Vogt и Hellner (1960), изучавшие кристаллическую структуру минерала, на основании своих данных предложили несколько иную формулу $Pb_{18}Sb_{18}S_{44}$. Рассматривая свое сообщение как предварительное, они не исключают возможности изменения этой формулы, в результате более детального изучения структуры, в сторону формулы Berry.

Кроме свинца, сурьмы и серы, в некоторых анализах присутствуют в незначительных количествах Cu, Fe, Zn, Sn, Hg, Ag, а также Bi и As. Наличие в анализах Fe, Zn, Sn, Hg обязано, по всей вероятности, механической примеси соответствующих минералов. Медь, содержание которой в некоторых образцах буланжеритов из Восточного Забайкалья достигает и более 1%, рассматривалась С.С. Смирновым (1934) в качестве характерной составной части буланжеритов Забайкальских руд. Однако в связи с обнаружением в образцах руд ряда полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья значительных количеств менегит-

нита (см. описание менегинита), выделенный С.С. Смирновым " своеобразный купробуланжерит" представляется сомнительным. Вполне возможно, что именно менегинит был ошибочно определен С.С. Смирновым как медьсодержащий буланжерит.

Шесть новых химических анализов, выполненных в процессе настоящего исследования для образцов буланжеритов из Алайского хребта, Тамдыкола, Нагольного кряжа и Тосканы (табл. VI и VII Приложения), хорошо рассчитываются на формулу $Pb_5Sb_4S_{11}$. Анализы буланжеритов из месторождений в Алайском хребте и месторождения Тамдыкол (анализы 1-4) содержат As и Bi. Известно, что эти элементы, кристаллохимически близкие к Sb, могут изоморфно замещать последнюю в ее соединениях. Так как в отобранных образцах отсутствовали собственные минералы As и Bi, а содержания Sb были соответственно ниже теоретического, мы пересчитывали химические анализы буланжеритов, принимая во внимание вполне вероятную возможность такого замещения.

Джемсонит. В вопросе о химическом составе и формуле джемсонита до последнего времени не было единого мнения. До недавнего прошлого формулой джемсонита многими исследователями принималась $Pb_2Sb_2S_5$, хотя на основании анализов еще в 1910 г. Schaller была предложена формула $Pb_4FeSb_6S_{14}$. В настоящее время эта формула принимается для джемсонита большинством исследователей. Эта же формула выводится и из атомной структуры минерала, расшифрованной Niizeki, Buerger (1957). В то же время в работе Machatchki, изданной в 1953 г., предлагается формула $Pb_4(Sb, Fe)_7S_{14}$. И. Костов же в своей работе, опубликованной в 1957 г., использует формулу $Pb_4Sb_6S_{13}$.

С целью уточнения формулы джемсонита были сделаны пять полных химических анализов на материале, изученном автором, а также пересчитаны анализы, опубликованные в литературе. В табл. VIII и IX Приложения приведены четыре анализа джемсонита, заимствованные из справочника - Минералы, т. I (1960). Пересчеты результатов анализов показывают, что всего лишь один из них хорошо рассчитывается на формулу минерала $Pb_4FeSb_6S_{14}$; анализ 3 не может быть принят для пересчета, так как в нем слишком большое содержание примесей - 3,45% меди и 1,34% серебра не принадлежат джемсониту; в анализе 2 значительный избыток железа (около 1 вес.%) и недостаток сурьмы; в анализе 4 присутствующей серы не хватает, чтобы связать все катионы - часть катионов и, по всей вероятности, прежде всего железо, присутствовали в образце не в сульфидной форме; такого железа в пробе было не менее 3 вес.%! Таким образом, в отечественной минералогической литературе практически отсутствуют хорошие химические анализы джемсонита. Трудно найти объяснение такому положению, если к тому же принять во внимание, что джемсонит не является минералом редким.

Результаты пяти новых химических анализов, выполненных на изученном нами материале, показывают, что состав джемсонита из раз-

личных месторождений почти точно отвечает формуле $Pb_4FeSb_6S_{14}$. Частое отклонение от этой формулы прежних анализов (Дэна, 1950; "Минералы", т. I, 1960; Лазаренко, 1963; Hintze, 1897-1937; Doelter, 1912-1931) и наличие в анализах таких элементов, как медь, цинк, а возможно, и серебро, связано с механическими примесями. За счет механических примесей присутствуют в анализах джемсонита и высокие содержания железа. Однако авторы многих справочников и руководств (Дэна, 1950; Минералы, 1960; Лазаренко, 1963) указывают на возможные для состава джемсонита содержания железа до 10%! Повышенное содержание железа в джемсоните можно было бы ожидать в случае замены части атомов сурьмы на атомы железа. Однако такое замещение в свете представлений об атомной структуре минерала (Niizeki, Buenger, 1957), а также с общих позиций о явлениях изоморфизма элементов, мало вероятно, а если и возможно, то в чрезвычайно ограниченных количествах. Проще объяснить наблюдаемый незначительный дефицит железа (анализы 5 - 9), который может быть обязан присутствию ничтожно малой части железа не в двух, а в трехвалентной форме. Поэтому и повышенное содержание железа против теоретического (2,72% по формуле) в анализах джемсонита следует относить за счет механических примесей. В этой связи интересны исследования Koch, Grasselly (1960), которые проанализировали несколько образцов джемсонита и пересчитали анализы на формулу. Строго говоря, результаты, полученные Кохом и Грасселли, не могут быть приняты для расчета формулы, так как содержания примесей в пробах оказались слишком высокими, но соотношения элементов в анализах получились весьма любопытными. Во всех анализах при различных содержаниях железа наблюдается практически постоянное соотношение $PbS : Sb_2S_3$, равное 4:3. Значитель-

ные расхождения в содержании железа при постоянстве соотношения $PbS : Sb_2S_3$ S. Koch объясняет наличием примесей железосодержащих минералов в анализированных пробах. В образцах, использованных для анализа, джемсонит присутствовал в тесном сростании с пиритом, пиротином, от которых полностью освободить минерал не удалось. Такое объяснение вполне вероятно, и формулу джемсонита $4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$, подтвержденную эмпирически (в том числе и новыми химическими анализами), а также полученную в результате изучения атомной структуры минерала, следует считать убедительно доказанной. Однако необходимо отметить, что состояние химических анализов, имеющих в литературе по джемсониту, неудовлетворительное.

Характерными элементами-примесями в буланжерите и джемсоните являются серебро, олово, таллий, индий и кадмий, иногда отмечаются мышьяк и висмут. Серебро в количестве сотых-десятых долей % постоянно присутствует в обоих минералах, олово более характерно для джемсонита. В отношении накопления таллия, индия и кадмия буланжерит и джемсонит ведут себя различно. Таллий образует повышенные концентрации (до сотых долей %) только в буланжерите таллиеносных месторождений; кадмий и в особенности индий являются постоянными примесями в джемсоните. Более обстоятельно вопрос об элементах-примесях в сульфоантимонитах свинца обсуждается во II главе работы.

Рентгенограммы буланжерита и джемсонита индивидуальны, надежно отличают минералы друг от друга и от других сульфоантимонитов свинца. Главные линии рентгенограмм:

буланжерита 3,72(10) 3,21(4) 2,81(9) 1,859(8) 1,752(5);
 джемсонита 3,44(10) 3,18(5) 3,09(5) 2,84(9) 2,75(8).

Внешние физические признаки буланжерита и джемсонита

Спайность. Среди внешних физических признаков спайность является одним из важнейших свойств. Это свойство обусловлено исключительно особенностями внутреннего строения кристаллического вещества, не является поэтому случайным и не зависит от условий кристаллизации минералов. Особенности внутреннего строения определяют как направления плоскостей спайности, так и степень совершенства последней. Таким образом, спайность является одной из внешних форм выражения внутренней сущности кристаллического вещества. Что касается буланжерита и джемсонита, то для индивидуализации этих минералов спайность имеет первостепенное значение — она является ведущим свойством среди внешних физических признаков.

Известно, что джемсонит и буланжерит принадлежат к группе игольчатых сульфоантимонитов свинца; джемсонит, как показывает систематическое наблюдение образцов этого минерала, в природных образованиях находится в виде агрегатов призматических, столбчатых зерен с совершенной спайностью по длине и менее совершенной (средней) поперек удлинения. Поперечная (базальная) спайность постоянно присутствует в образцах джемсонита и является очень характерной особенностью минерала, позволяющей отличать его от буланжерита, который характеризуется лишь одним направлением совершенной спайности по длине призматических зерен. До сих пор различие в характере спайности буланжерита и джемсонита не рассматривалось как важный диагностический признак, хотя в свое время Berry (1940) обращал внимание на поперечную спайность в джемсоните как на надежное средство отличия этого минерала от буланжерита.

В современных и ранее вышедших справочниках, по минералогии спайности буланжерита и джемсонита (как, впрочем, и других сульфоантимонитов свинца) описываются лишь как формальный признак, должным образом не анализируются и нередко оцениваются недостаточно точно. Отсюда несоответствия и в описаниях характера агрегатов, в значительной мере обусловленного проявлением спайности (табл. 6).

Наибольшие несоответствия наблюдаются в отношении джемсонита — ни в одном из цитированных в табл. 6 руководств нет правильного описания спайности этого минерала. Главная ошибка состоит в том, что предпочтение отдается поперечной (базальной) спайности по (001) — все авторы констатируют прежде всего это направление. Плоскость (001) в одних руководствах: Э.С. Дана (1937), А.Г. Бетехтин (1950),

Джемсонит		Буланжерит		Литературный источник
Характер агрегатов и кристаллов	Спайность	Характер агрегатов и кристаллов	Спайность	
<i>Игольчатые</i> , волосовидные кристаллы, плотно-волокнистый; параллельные или расходящиеся волокна; сплошной. Хрупкий.	По (001) совершенная, излом неровный до раковистого	<i>Призматический или таблитчатые кристаллы или кристаллические перистые массы; зернистый, плотный.</i>	По (001) и (010)	Э.С. Дана, 1937
Войлокоподобный; <i>слабой; волокнистый до столбчатого; иногда радиальный или перистый. Хрупкий.</i>	По {001} хорошая; возможно по (010) и {120}	<i>Длиннопризматический до игольчатого с глубокой штриховкой по (001); перистый; волокнистый; часто в сплошных волокнистых, иногда в сланцеватых массах; хрупкий; тонкие волокна гибкие</i>	По {100} хорошая	Дж.Д. Дэна и др., 1950
<i>Игольчатые</i> волосовидные кристаллы и <i>сплошные</i> массы.	По (001) средняя	<i>Тонкозернистые и спутанноволокнистые агрегаты; кристаллы крайне редки. Хрупкий</i>	По {100} средняя	Бетехтин, 1950
<i>Радиально-лучистые</i> и <i>перистые агрегаты</i> игольчатых и волосовидных кристаллов; также зернистые агрегаты. Хрупкий	По (001) и менее ясная — по (110) и (010)	<i>Игольчатые, призматические и таблитчатые кристаллы; иногда тонковолокнистые, стебельчатые агрегаты, реже — плотные массы; хрупок, в тонких волокнах — гибок</i>	По (100)	Минералы, т.1, 1960
Волокнистые (001); <i>радиальнолучистые, шелковистые агрегаты; индивиды без концевых граней</i>	По (001) хорошая	<i>Игольчатые, волокнистые, плотные; почти всегда без конечных ограничений. Хрупкий, в тончайших кристаллах — гибкий</i>	По (100) отчетливая	Рамдор, 1962
<i>Лучистые</i> и <i>плотноволокнистые агрегаты</i> , а также волосовидные кристаллы	По (001) средняя	<i>Кристаллы очень редки — игольчатые, столбчатые, вытянутые по (001), иногда таблитчатые по пинакoidу (100); обычно спутанноволокнистые агрегаты, напоминающие сурьмяный блеск</i>	По (100)	Лазаренко, 1963, 1971

Примечание. Курсивом показаны свойства, действительно характерные, по мнению автора книги, для данного минерала.

П.Рамдор (1962), Е.К. Лазаренко (1963, 1971), указывается как единственное направление спайности в джемсоните; спайность эта классифицируется или как совершенная (Э.С. Дана), или как хорошая (П.Рамдор) и средняя (А.Г. Бетехтин и Е.К. Лазаренко). В других справочниках: Дж.Дэна и др. (1950), "Минералы" (1960), кроме спайности по (001) отмечаются также и спайности в призматических зонах; так, авторы "Системы минералогии" (1950) указывают направление спайности по (001) и оценивают его как "хорошие и как возможные, но все же сомнительные - по (010) и (120) - стр. 540 и 543; в отечественном справочнике "Минералы" (1960) сообщаются спайности по (001) без указания степени совершенства и по (120)¹ и (010), оцениваемые как "менее ясные".

Все цитированные выше описания спайности джемсонита не соответствуют наблюдаемым фактам. Если бы в джемсоните действительно была только спайность по (001), этот минерал должен бы наблюдаться лишь в виде пластинчатых агрегатов; при наличии кроме спайности по (001) еще двух направлений "менее ясных" по призме (120) и второму пинакоиду (010) джемсонит опять должен был бы иметь пластинчатые (или в этом случае, скорее, таблитчатые) по (001) агрегаты зерен. В действительности же, как отмечалось выше, джемсонит образует призматические или шестоватые, столбчатые агрегаты (рис. 9, 10), в которых главной, наиболее совершенной является спайность, параллельная удлинению. Хорошая поперечная спайность (001), чрезвычайно характерная для этого минерала и позволяющая отличать его от буланжерита, всегда присутствует в джемсоните, но только в сопровождении более совершенной спайности по длине призматических зерен.

Характер спайности и агрегатов, наблюдаемые у джемсонита, хорошо согласуются и непосредственно вытекают из атомной структуры минерала, расшифрованной Niizeki, Buegger (1957). Именно на эту работу ссылаются авторы справочника "Минералы", описывая структуру джемсонита; однако вследствие неточности, допущенной в переводе, из работы Ниидзеки и Бёргер ими делается неправильный вывод о том, что в минерале "наиболее выражена спайность по (001)" - Минералы, т. 1, стр. 440. Ниидзеки и Бёргер к этому выводу не приходят и он не следует из фактического материала, сообщаемого ими в статье.

Исходными элементами структуры джемсонита, согласно Ниидзеки и Бёргеру, являются тригональные пирамиды SbS_3 , в которых каждый из трех атомов серы располагается на расстоянии в $\sim 2,5 \text{ \AA}$ от атомов сурьмы. Три такие пирамиды (SbS_3), каждая из которых имеет общие вершины с соседними, расположены почти на прямой линии, параллельной $[120]$, и образуют группу Sb_3S_7 . Расстояние между атомами сурьмы и серы в эквивалентных группах вдоль оси С равно $\sim 3 \text{ \AA}$. Две

¹ В справочнике "Минералы" для призматической спайности указан индекс (110), что является, по-видимому, опечаткой.

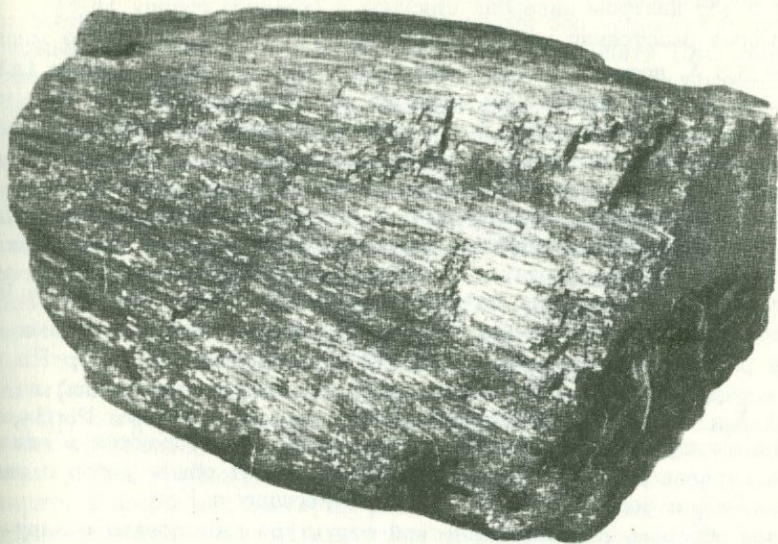


Рис. 9. Параллельно-шестоватый, крупнозернистый агрегат джемсонита. Совершенная продольная и хорошая поперечная спайности в джемсоните создают своеобразный ступенчато-призматический облик агрегатов. Макроснимок, почти натуральная величина; Центральное (Восточное Забайкалье)

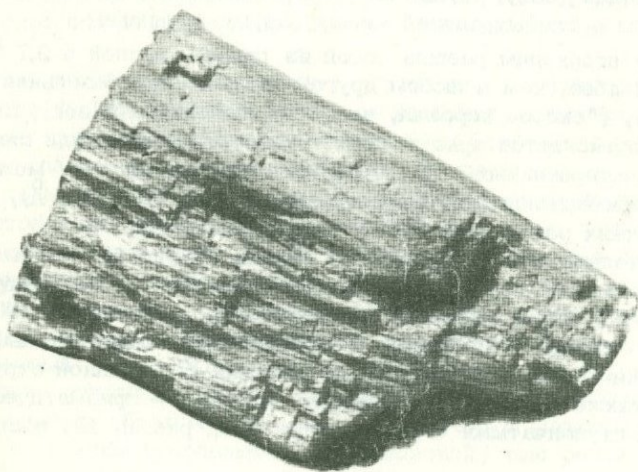


Рис. 10. Столбчато-призматические агрегаты джемсонита с четко выраженными продольными и поперечными направлениями спайности. Макроснимок, увел. 3; Кавник (Чехословакия), обр. 47759, Минералогический музей АН СССР

группы Sb_3S_7 центром инверсии связаны в большую группу Sb_6S_{14} ; межатомные расстояния между этими двумя группами Sb_3S_7 не меньше, чем $3,3 \text{ \AA}$, поэтому между ними существуют наиболее слабые (для данной структуры) химические связи $Sb-S$. Таким образом, в большой группе Sb_6S_{14} каждый атом Sb имеет в качестве соседей 7 атомов S : три атома на расстоянии $\sim 2,5 \text{ \AA}$, два атома на расстоянии $\sim 3,0 \text{ \AA}$ и два атома - на расстоянии большем, чем $3,3 \text{ \AA}$. Две группы Sb_6S_{14} в элементарной ячейке связаны друг с другом центром инверсии и дают промежутки трех типов, занятые атомами железа и двумя видами атомов свинца; атом железа находится в центре неправильного октаэдра в окружении шести атомов серы на расстояниях $2,36 \text{ \AA}$ (2 атома), $2,57 \text{ \AA}$ (2 атома) и $2,66 \text{ \AA}$ (2 атома); Pb_I окружен 8 ближайшими атомами серы (6 - на расстоянии, меньшем $3,1 \text{ \AA}$ и 2 на расстоянии $\sim 3,3 \text{ \AA}$); Pb_{II} имеет в окружении 7 ближайших соседей серы (6 на расстоянии, меньшем $3,1 \text{ \AA}$, и один - на расстоянии $3,3 \text{ \AA}$). Полиэдры $Pb_I S_8$ и $Pb_{II} S_7$, имеющие между собой по одному общему ребру, простираются в виде цепочек, параллельных оси C . Полиэдр $Pb_I S_8$ имеет общее ребро с октаэдром FeS_6 и полиэдр $Pb_{II} S_7$ - общую вершину с FeS_6 .

Таким образом, в кристаллической структуре джемсонита обнаруживается структурный мотив, общий для многих игольчатых сульфосолей - цепи $Sb-S$, параллельные оси C ; однако в джемсоните эти цепи недостаточно четко выражены благодаря присутствию в минерале железа, атомы которого, тесно связанные с серой, располагаются в виде слоев, параллельных плоскости (001).

Из описанной структурной схемы Ниизеки и Бёргер объясняют спайности джемсонита: 1) в призматических зонах (120) и (010) и 2) в плоскости пинакоида (001). Спайность (120) появляется вследствие нарушения наиболее слабых связей между двумя группами Sb_3S_7 ; для спайности (010) необходим разрыв одной из связей, длиной в $2,7 \text{ \AA}$, но эта связь слабее, чем в любом другом направлении; базальная спайность (001), ("скорее хорошая, чем совершенная" - Niizeki, Buerger, стр. 183), объясняется присутствием в структуре минерала сильных связей, ориентированных \parallel (001): "линия связи $Sb-S$ между группами, повторяющимися благодаря трансляции (по $C \sim 3,0 \text{ \AA}$), и два самых коротких расстояния $Fs-S$ параллельны (001)".

Следовательно, исходя из общего мотива структуры и межатомных расстояний, можно ожидать, что наиболее совершенной в минерале будет спайность по (120) и наименее совершенной - в плоскости (001). Именно такое соотношение спайности и наблюдается в действительности в образцах джемсонита. В полном соответствии с описанной структурой находится также и характер агрегатов минерала - призматически столбчатый¹ со ступенчатыми ограничениями (см. рис. 9, 10) и с частыми

¹ Д.П. Григорьевым (1965) джемсонит отнесен к сульфосолям островного типа, что явно противоречит рассмотренной выше внутренней структуре минерала и морфологическим особенностям.

ромбовидными поперечными сечениями индивидов. Тонковолокнистые, шелковистые, перистые агрегаты с индивидами без концевых граней, приписываемые различными исследователями джемсониту (см. табл. 6), согласно наблюдениям автора, являются типичными для буланжерита.

Буланжерит, в отличие от джемсонита имеет одно направление спайности — параллельно удлинению, и в литературе в отношении спайности этого минерала сведения более правильны, чем в отношении джемсонита. Все авторы для буланжерита сообщают спайность по первому пинакоиду (100)¹. Разногласия заключаются в оценке степени совершенства этого направления: так, П.Рамдор (1962) пинакоидальную спайность буланжерита классифицирует как отчетливую (?); А.Г. Бетехтин (1950) и Е.К. Лазаренко (1963, 1971) — как среднюю; к категории "хороших" относят ее авторы "Системы минералогии" (1950); в справочнике "Минералы", т. I (1960) спайность в буланжерите приводится без оценки степени ее совершенства. В действительности же спайность буланжерита должна быть классифицирована как совершенная, а не как отчетливая, средняя или хорошая; она более совершенна, чем призматическая спайность (120) в джемсоните. Атомная структура буланжерита в настоящее время не расшифрована и поэтому не представляется возможным внешне физические свойства сопоставить с внутренней структурой минерала, как это можно было сделать для джемсонита. Однако на основании эмпирически наблюдаемых свойств и прежде всего таких, как спайность и характер агрегатов (рис. 11, 12), может быть правильно предсказан определенный тип структуры, ожидаемый для данного минерала. Так, совершенная спайность по длине пластинчато-призматических зерен, высокая гибкость тонковолокнистых индивидов дают основание предполагать, что в структуре буланжерита должны быть четко выраженные, более четко, чем в джемсоните, цепи (или слои), параллельные игольчатой оси, или точнее, плоскости (100).

Заканчивая обсуждение спайности и агрегатов, следует еще раз отметить, что правильная оценка этих свойств для буланжерита и джемсонита имеет принципиальное значение, так как различия в характере агрегатов и спайности позволяют уверенно отличать эти два минерала.

Спайность может наблюдаться макроскопически, в полированных шлифах в отраженном свете и в прозрачно-полированных шлифах в проходящем инфракрасном свете. Проще всего и увереннее она обнаруживается макроскопически. Продольная спайность одинаково хорошо проявлена у обоих минералов. В джемсоните наличие хорошей поперечной спайности в сочетании с совершенной по длине зерен создает своеобразный ступенчатый характер призматически зернистых агрегатов минерала, особенно отчетливо, даже невооруженным глазом наблюдаемый в крупнозернистых образованиях (см. рис. 9, 10). В мелкозернистых агрегатах, в которых отдельные зерна (индивиды) еще различимы, спайность без особого труда обнаруживается при наблюдении под

¹ Лишь в справочнике Д.С. Дана (1937) для буланжерита указаны спайности по (001) и (010).

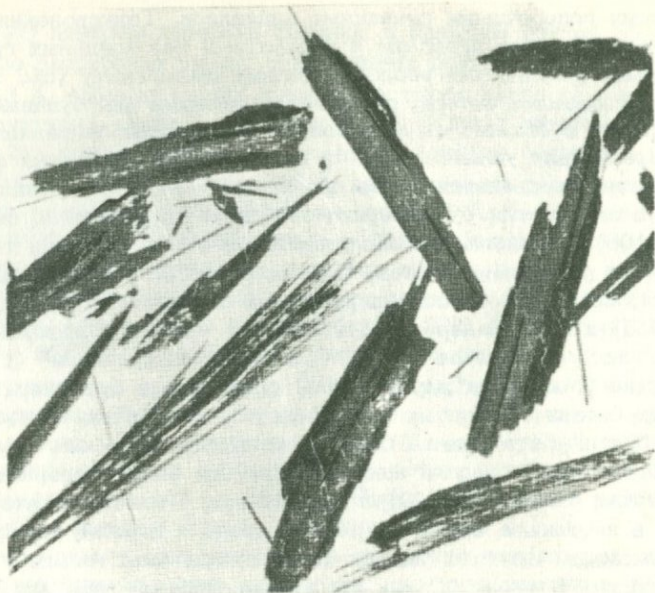


Рис. 11. Тонкопризматические зерна буланжерита с совершенной спайностью по длине, с занозистыми окончаниями. Макроснимок, увел. 5; Корнуол (Англия), обр. 47719, Музей АН СССР

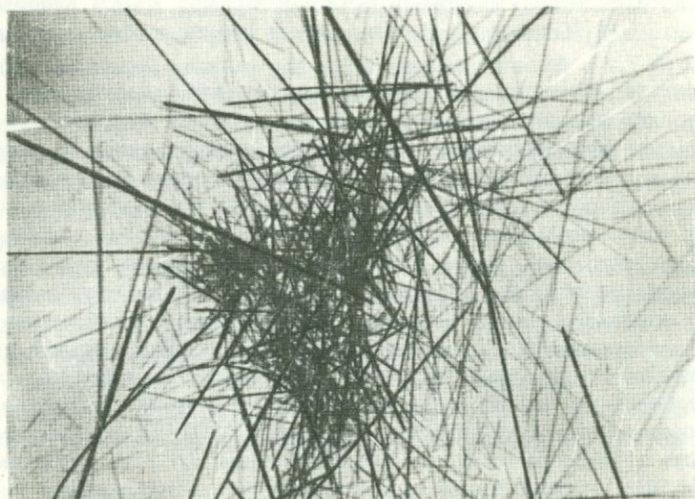


Рис. 12. Тонковолокнистые, гибкие зерна буланжерита. Макроснимок, увел. 5

бинокляром (рис. 13). В случае же тонкоигольчатых одиночных кристаллов поперечная спайность (так же как и призматическая) может быть легко обнаружена слабым надавливанием на зерно (или агрегат) предметным стеклом при одновременном наблюдении в бинокляр (рис. 14). Как правило, поперечная спайность, отличающая джемсонит, наблюдается и в полированных шлифах (рис. 15, 16). В проходящем инфракрасном свете, как показывает комбинированное наблюдение прозрачно—полированных шлифов, эта спайность, так же как и спайность вообще, проявлена более отчетливо (рис. 17). Это, очевидно, связано с образованием на поверхности всех полированных шлифов "наклепа" (или так называемого слоя Бейли), залечивающего трещинки спайности. Наиболее четко спайность в полированных шлифах наблюдается в образцах, частично затронутых окислением.

Двойники. Очень полезно для диагностики буланжерита и джемсонита наблюдение двойников. Пластинчатое двойникование является отличительной особенностью джемсонита. Опыт работы с коллекциями сульфоантимонитов свинца показывает, что двойникование джемсонита развито более широко, чем об этом сообщается в справочниках, и характерно не только для крупнозернистых агрегатов минерала, но также систематически обнаруживается и в тонкозернистых образованиях.

Наблюдение двойников в рудных минералах обычно производится в шлифах в видимом отраженном свете (рис. 18). Плоскостью двойникования в джемсоните служит направление (100), поэтому наиболее отчетливо двойники заметны в удлиненных сечениях минерала, перпендикулярных к (100), т.е. в плоскости второго пинакоида. В этих же разрезах, как правило, наиболее отчетливо выступает и поперечная спайность минерала (рис. 16). Необходимо заметить, что вследствие сравнительно небольших различий в отражательной способности джемсонита в различных направлениях, двойниковое строение при недостаточно внимательном наблюдении может быть легко пропущено. В торцевых сечениях, где различия в отражательной способности наименее значительны, двойники не обнаруживаются. Это обстоятельство всегда нужно иметь в виду, чтобы отсутствие двойников в случайных разрезах не отнести к характерной особенности минерала. Обнаружить полисинтетические двойники в минерале помогают наблюдения с иммерсией, усиливающей оптические эффекты. Очень полезны также исследования минералов в инфракрасном свете: в прозрачно—полированных шлифах двойники, так же как и спайность, проявлены более четко (рис. 19).

Двойниковое строение у буланжерита нами не наблюдалось и в литературе никак не отмечается.

Таким образом, наличие двойников у джемсонита и отсутствие их у буланжерита может быть использовано в качестве дополнительного критерия, позволяющего отличать эти два минерала.

¹ Полисинтетические двойники чрезвычайно характерны также для геокронита, но они несколько отличны от двойников джемсонита. Кроме того, у геокронита иные характер спайности, форма зерен, агрегатов, парагенетические ассоциации, а также характер дисперсии R.

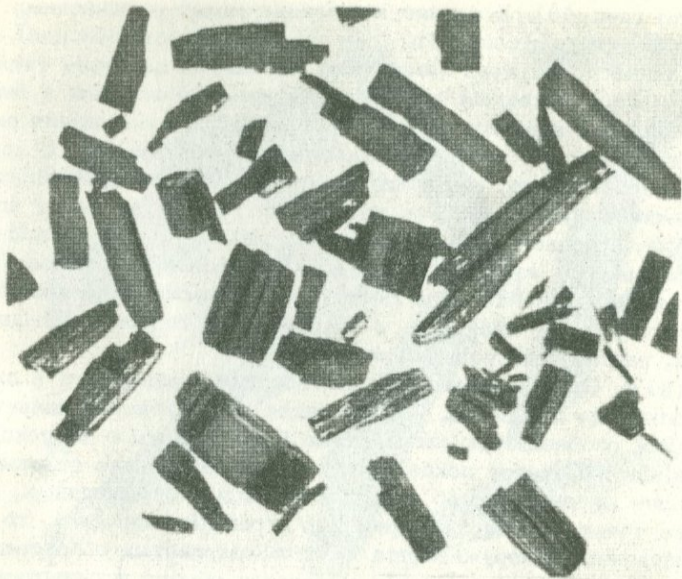


Рис. 13. Зерна джемсонита призматически столбчатой формы с четкими поперечными ограничениями. Макроснимок,увел. 5; Кутна Гора (Чехословакия), образец Ж,Хака

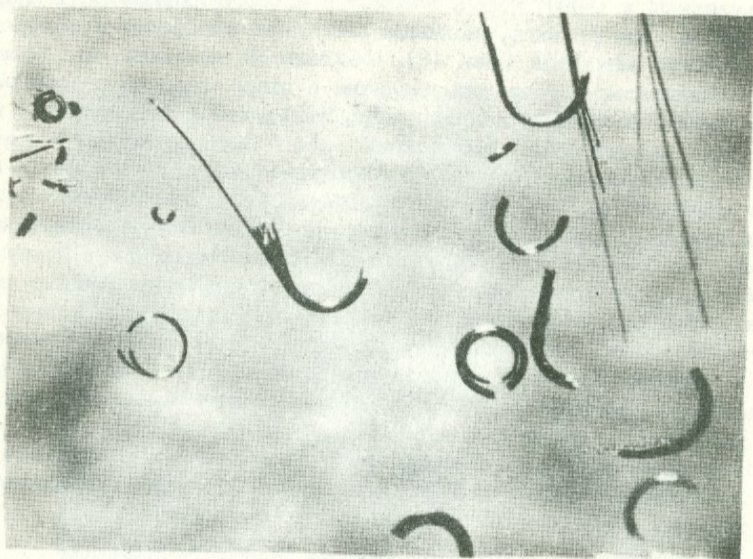


Рис. 14. Агрегаты джемсонита в форме колец. Макроснимок, увел. 25; Байя-Маре (Венгрия), Минералогический музей АН СССР

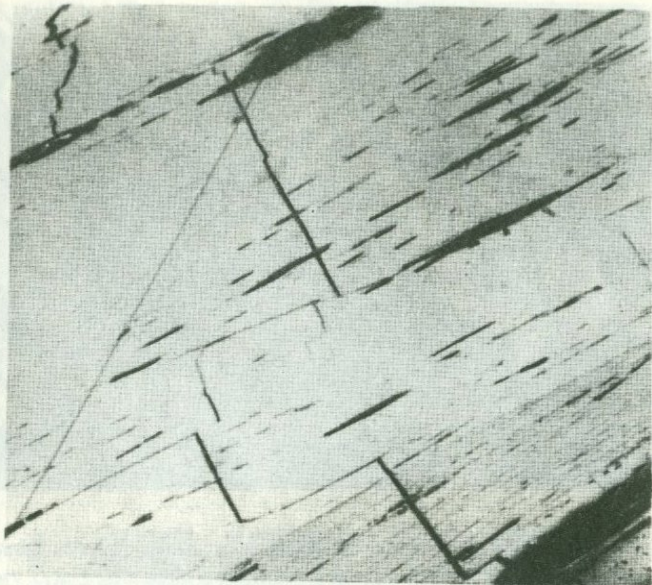


Рис. 15. Продольная и поперечная спайности в джемсоните. Шлиф полированный, николи параллельны, увел. 250; Центральное (Восточное Забайкалье)

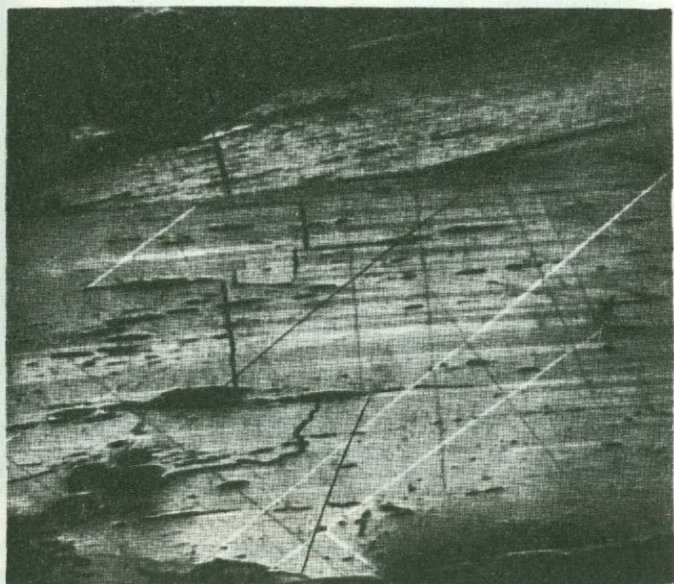


Рис. 16. Поперечная спайность и двойники в джемсоните. Шлиф полированный, николи частично скрещены, увел. 150; Центральное (Восточное Забайкалье)

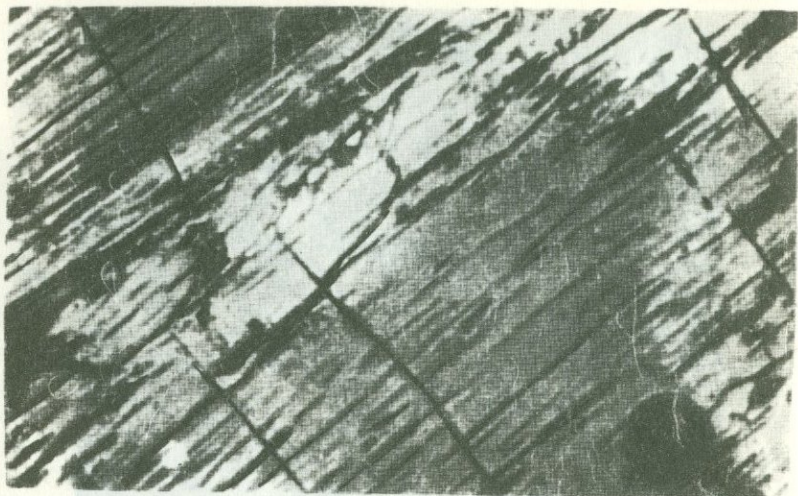


Рис. 17. Продольная и поперечная спайности в джемсоните. Шлиф прозрачно-полированный, свет инфракрасный, николи параллельны, увел. 250; снимок сделан на инфракрасную пленку; Центральное (Восточное Забайкалье)



Рис. 18. Полисинтетические двойники в джемсоните. Шлиф полированный, николи неполностью скрещены, увел. 150; темные рельефные зерна - пирит; Центральное (Восточное Забайкалье)



Рис. 19. Полисинтетические двойники в джемсоните. Шлиф прозрачно-полированный, свет инфракрасный, николи скрещены, увел. 40; Тасчан (Китай); снимок сделан на инфракрасную пленку

а - положение I, при котором погашена одна система двойников,
 б - положение II, при котором погашена другая система двойников

Удельный вес. Одной из главнейших констант минералов является удельный вес (Куплетская, 1951). Он отражает особенности химического состава и кристаллического строения минералов и служит основой для определения содержания элементарной ячейки. Результаты измерения удельных весов нередко используются и при диагностике.

Различия в значениях удельных весов буланжерита и джемсонита значительны и поэтому результаты измерений их могут быть использованы для отличия минералов. Однако сведения, содержащиеся в справочниках в отношении удельных весов этих минералов, противоречивы. Эти сведения приведены в табл. 7. В той же таблице сообщаются фактические материалы по измерениям удельных весов буланжерита и джемсонита, проведенным различными исследователями.

Для джемсонита расхождение в результатах измерений удельных весов и отклонения от вычисленных значений, как можно видеть из таблицы, невелики. Величины удельных весов, полученные нами, находятся в пределах 5,60–5,70¹; эти цифры очень близки к значениям, вычисленным Вегу – 5,67 и Секи – 5,616; измеренные величины для образцов джемсонитов различных месторождений, сообщаемые разными авторами, колеблются от 5,467 до 5,71; наиболее близкими к истинным в свете данных Вегу, Секи, а также удельных весов, полученных нами, следует считать величины 5,61–5,65; отклонения от этих цифр в общем незначительны и могут быть обусловлены, с одной стороны, различной точностью применявшихся методик, и, с другой – недостаточной чистотой исследованного материала; значение удельного веса джемсонита 6,0, сообщаемое Э.С. Дана (1937), авторами справочника "Минералы", т. I (1960) и Е.К. Лазаренко (1963, 1971), не подтверждается фактическими материалами и является, очевидно, ошибочным. Что касается буланжерита, то в отношении этого минерала в литературе содержатся явные противоречия, обязанные, по всей вероятности, ошибочно принятым за буланжерит образцам джемсонита и некоторых других минералов. Вычисленный удельный вес буланжерита, согласно исследованиям Вегу (1940), равен 6,21. Подавляющее большинство фактически измеренных удельных весов находится около этой величины (в табл. 7 отмечены звездочкой). Сомнительными представляются самые низкие значения, сообщаемые Хаусманн для буланжеритов Нерчинских руд (5,7) и указанные в справочниках Э.С. Дана (1937) – 5,7 и П. Рамдора, 1962 – 5,6, а также самые высокие (Shannon – 6,274; 6,407; Вегу – 6,32 и Рамдор – 6,5). Величины 6,4–6,5 слишком высоки и вряд ли принадлежат чистому буланжериту; материал, для которого был определен такой высокий удельный вес, мог содержать незначительную примесь галенита, либо за буланжерит был ошибочно принят другой сульфоантимонит свинца и вероятнее всего это мог быть менегинит, который наблюдается в аналогичной с буланжеритом ассоциации и при недостаточно внимательном исследовании может быть принят за буланжерит. Низкие значения удельного веса (5,6–5,7), очевидно, обязаны джемсониту, неоднократно ошибочно принимавшемуся за буланжерит. Величины удельного веса 5,6–5,7, как это можно видеть в табл. 7, относятся лишь к материалу Нерчинских руд. Никаких других подобных сведений, характеризующих фактический материал, в литературе нет.

¹ Величины удельных весов 5,7 получены микрометодом, который дает менее точные, чем гидростатический метод, результаты

Джемсонит	Буланжерит	Примечания
5,5 - 6,0	5,7 - 6,3	Э.С. Дана (1937)
5,63*	6,23* (5,98 ± 0,02)	Дж.Д. Дэна и др. (1950)
5,63*	6,23*	А.Г. Бетехтин (1950)
5,5 - 6,0	5,98* - 6,23	Минералы, т. I (1960)
5,63*	5,6 - 6,5	П.Рамдор (1962)
5,5 - 6,0	6,23*	Е.К. Лазаренко (1963, 1971)
	5,98* - 0,02	Palach, Berman (1942); удельный вес получен с помощью определений на микровесах (среднее из большого количества определений), минерал из Рокки Галч, Монтана
	5,97*	Boulanger (1835) - Molieres, Франция, по Berry, 1940
	5,688 5,726 5,941	Hausmann (1839), Нерчинск; по Berry, 1940
	5,813	Rammelsberg (1839), Оберлар, ФРГ; по Berry, 1940
	6,182* 6,185* 6,188*	Sjögren (1897), Сала, Швеция; по Berry, 1940
	6,274	Shannon (1921), Сьюперior, Монтана (США); по Berry, 1940
	6,407 6,14*	Shannon (1921); по Berry, 1940
	6,23* 6,32 6,21*	Berry (1940); Мюлан, Ойдахо Berry (1940)
5,56*		Berry (1940); значения измеренных удельных весов различных образцов джемсонита месторождения Корнуолл, определения производились на микровесах Berman
5,57*		
5,58*		
5,61*		
5,56*		
5,60		

Таблица 7 (продолжение)

Джемсонит	Буланжерит	Примечание
5,63*		Berry (1940); Боливия, определения пикнометром
5,519 5,546		Spenser (1907); Боливия; по Berry, 1940
5,616* 5,467		Schaffgotsch (1836); по Berry, 1940 Genth (1879); по Berry, 1940
5,478 - 5,49 5,693 - 5,719*		Zinchen, Rammelsberg (1849) Гарц, ФРГ; по Berry, 1940
5,54		Stelzner (1873), Аргентина; по Berry, (1940)
5,67**		Berry (1940)
5,616**		Seki-Toshikaru (1960)
	По данным автора (Чзилева, 1968)	} Определено методом гидростатического взвешивания в спирте
6,13*	Тамдыкол, Средняя Азия	
6,10*	То же	
6,08*	Верховья р.Сох, Средняя Азия	
6,02*	То же	
	6,20*	Зееган, Тасмания, Австралия - определено микрометодом
5,63*		} Определено методом гидростатического взвешивания в спирте
5,60*	Центральное, Восточное Забайкалье	
5,60*	Савинское № 5, то же	
5,616*	Таочан, Китай Кутна Гора, Чехословакия	
5,69*		} Определено микрометодом
5,75	Благодатский прииск (№ 53423)	
5,7*	То же, (№ 53697) Нерчинский округ (№ 28333)	
5,68*	Корнуолл (Англия) (№ К-118/3)	

Примечание.* Измеренные значения удельных весов, характерные для данного минерала;

**Вычисленные значения удельных весов.

Проведенное нами изучение коллекции сульфoантимонитов свинца в Минералогическом музее АН СССР (Москва) показало, что среди образцов нерчинских "буланжеритов" более половины в действительности являются типичными джемсонитами (обр. 53423 и 53697 - Благодатский прииск, 28333 - Нерчинский округ, 57641 и 57642 - Запокровское месторождение).

Таким образом, приводимые в литературе колебания удельных весов (джемсонита от 5,5 до 6,0 и буланжерита от 5,6 до 6,5), перекрывающие друг друга, явились следствием ошибочных определений минералов, в результате чего различия в удельных весах этих двух сульфoантимонитов оказались смазанными. Упорядочение литературных сведений об удельных весах буланжерита и джемсонита и новые определения автора на достоверном материале показывают, что различия в удельных весах этих минералов значительны (джемсонит $\sim 5,6$ и буланжерит $\sim 6,2$) и потому эта константа (т.е. удельный вес) может быть с успехом использована в диагностике минералов.

Твердость по микровдавливанию. Твердость является важной диагностической константой минералов, отражающей особенности внутреннего строения и химического состава кристаллического вещества. В последнее время в практику многих минералогических лабораторий прочно входят приемы получения количественной характеристики твердости по микровдавливанию в полированных шлифах.

Для буланжерита и джемсонита твердость по микровдавливанию определялась рядом авторов. Результаты измерений сообщаются в табл. 8.

Несмотря на то, что данные разных авторов несколько различаются между собой вследствие недостаточно стандартных условий измерения, во всех результатах нетрудно видеть общую тенденцию - цифры микротвердости буланжерита систематически выше, чем у джемсонита. Несколько более низкая, чем обычного, твердость висмутсодержащего буланжерита (Чвилёва, Новороссова, 1965) также остается выше, чем твердость джемсонита. Из отмеченной закономерности выпадают только измерения И.А. Пудовкиной, у которой соотношения величин микротвердости буланжерита и джемсонита получились обратными; в свете тех фактов, которые были изложены выше относительно систематических ошибочных определений буланжерита и джемсонита, представляется вполне вероятным, что И.А. Пудовкиной были измерены перепутанные образцы, благодаря чему и цифры микротвердости получились обратными.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время, хотя и довольно ограниченные, сведения о величинах микротвердости буланжерита и джемсонита позволяют рассматривать их как свойства индивидуальные для каждого минерала. Эти величины представляют несомненный интерес и могут быть использованы при диагностике.

Из менее определенных признаков отличия буланжерита и джемсонита могут быть указаны: цвет, более темный с матовым налетом у джемсонита; цвет минерала в порошке, практически черный у джемсонита и со слабым буроватым оттенком у буланжерита (отсюда и внутренние рефлексы более яркие у буланжерита и с трудом наблюдаемые у джемсонита).

Таблица 8

Значения твердости по микровдавливанию в кгс/мм²
буланжерита и джемсонита

Минерал	Бови и Тейлор, 1959	Toubeau, 1962	Young, Millman, 1964	Пудовки- на и др., 1961	Мозгова и др. (1968)	Данные автора
Джемсонит	96-121 (100)	118-156 (15-25)	58-132(25)	114-146 120-200	104-123 (20)	92-147(50)
Буланжерит	157-183 (100)	170 (15-25)	137-217(25) 120-157(50) 116-151(100)	62-75	113-179 (20)	127-172(50) 100-165(50) (буланже- рит с Bi)

Примечание. В скобках приведены величины нагрузок, в граммах.

Таблица 9

Важнейшие внешние физические свойства
буланжерита и джемсонита (по данным автора)

Минерал	Агрегаты	Спай- ность	Двой- ники	Уд.вес	Твер- дость по микро- вдавливанию
Буланжерит	Таблитчато-призматические, спутанноволокнистые, шелковистые, с перистыми, занозистыми окончаниями; тонкие волокна - гибкие	Совер- шенная по (100)	Нет	6,21	127-172
Джемсонит	Столбчато-призматические, шестоватые, слабонерасходящиеся радикально-лучистые со ступенчатыми ограничениями; минерал хрупкий	Совер- шенная по (120) и (010) и (100) хорошая по (001)	Поли- синте- тические по хорошая	5,67	92-147

Систематическое изучение коллекций сульфoантимонитов свинца, а также критический анализ литературных сведений позволили выявить в дополнение к рентгенометрическим и химическим данным некоторые отличительные особенности среди внешних физических признаков буланжерита и джемсонита. Наиболее надежными из них являются: различия в характере спайности и морфологии агрегатов, различия в удельных весах минералов и в значениях твердости по микровдавливанию, полисинтетические двойники джемсонита (табл. 9).

Сводная таблица свойств буланжерита и джемсонита

	Буланжерит	Джемсонит
Химический состав и формула*	$5\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	$4\text{PbS} \text{ FeS} \ 3\text{Sb}_2\text{S}_3$
	Теор. состав в вес. %	Теор. состав в вес. %
	Pb 55,42	Pb 40,32
	Sb 25,69	Fe 2,72
	S 18,89	Sb 35,10
		S 21,86
Примеси*	Обычно Ag, Sn; иногда Tl, As, Bi, Cu, Zn и Fe за счет загрязнения проб буланжерита грубыми механическими примесями	Обычно Ag, Sn, In, Cd; иногда As и Bi, Cu, Zn, Fe (сверх 2,72%) - за счет загрязнения проб джемсонита грубыми механическими примесями
Кристаллография	Монокл. с.; $a_0 = 21,52$ $\beta = 100^\circ 48'$ $b_0 = 23,46$ $c_0 = 8,07$ $Z = 8$ (Berry, 1940)	Монокл. с.; $a_0 = 15,68$ $\beta = 91^\circ 48'$ $b_0 = 19,01$ $c_0 = 4,03$ $Z = 2$ (Berry, 1940)
Блеск, цвет, черта	Непрозрачен; в инфракрасном свете просвечивает*; блеск металлический, цвет свинцово-серый, светлый. Черта буровато-черная	Непрозрачен; в инфракрасном свете просвечивает хуже буланжерита*, характеризуется абсорбцией; блеск металлический; цвет свинцово-серый, темный; черта темно-серая, черная

Таблица 10 (окончание)

	Буланжерит	Джемсонит
Морфология*	Характерны игольчатые и призматические кристаллы, почти всегда без конечных ограничений; таблитчатые кристаллы; таблитчато-призматические, спутанно-волокнистые, шелковистые агрегаты, плотные массы	Столбчато-призматические, параллельно-шестоватые со ступенчатыми ограничениями агрегата
Слайность*	Совершенная по (100)	Совершенная по (120) и (010), хорошая по (001)
Двойники*	Не наблюдались	Характерны полисинтетические по (100)
Твердость:		
по Моосу	2,5 - 3	2 - 3
по микровдавливанию*	127 - 172	92 - 147
Удельный вес*	6,0 - 6,2* ; вычисленный - 6,21 (Berry, 1940)	5,6 - 5,7* ; вычисленный - 5,67 (Berry, 1940)

*См. табл. 2

Все эти признаки не являются случайными — они определяются особенностями внутреннего строения и состава минералов и потому могут быть строго доказаны и вычислены из атомной структуры. Для буланжерита и джемсонита эти свойства достаточно индивидуальны, легче, чем оптические, наблюдаются и оцениваются и потому могут быть отнесены к категории важнейших диагностических свойств. Правильная оценка их и, в первую очередь, наиболее важных — спайности, удельного веса в совокупности с анализом парагенетических ассоциаций минералов в большинстве случаев обеспечивает однозначное определение буланжерита и джемсонита без рентгенометрических исследований и химических анализов.

В настоящее время в связи со стремительным развитием новых точных методов исследования простые методики часто остаются без внимания и заложенные в них возможности не используются. Вместе с тем, последние, несмотря на свою чрезвычайную простоту, часто очень надежны и безусловно могут оказать большую помощь в диагностике минералов.

Микроскопия

Интенсивность отражения буланжерита и джемсонита, как и других сульфоантимонитов свинца, умеренная, в общем близкая с галенитом. В цвете обоих минералов отчетливо проявлена нежная зеленоватая тональность, характерная для большей части минералов группы. Оба минерала заметно двуотражают (буланжерит сильнее джемсонита) и характеризуются в общем сходными, умеренными до сильных, эффектами анизотропии при скрещенных николях с заметными цветными эффектами; более яркий цветной эффект (от желтовато-коричневатого до голубовато-зеленоватого) имеет буланжерит; те же тона цветного эффекта у джемсонита более блеклые. Внутренние рефлексы густые, красные, наблюдаются лишь в порошке с иммерсией, более сильные у буланжерита.

Как видно из приведенной визуальной характеристики, буланжерит и джемсонит в отраженном свете очень сходны; главное различие заключается в степени анизотропности, более значительной у буланжерита. В минералогической литературе нет единообразия в отношении характеристики оптических свойств этих минералов.

Результаты количественных измерений R , проведенных разными исследователями, показаны на рис. 20, 21 и в табл. 11 и 12. Расхождения в приведенных результатах наблюдаются и в отношении оценки общего уровня R минералов, и в отношении силы двуотражения.

По буланжериту данные, полученные нами, близки с результатами, сообщаемыми Л.Н. Вяльсовым (1969): согласно измерениям R на "Блеске" и "ПИОРЕ", самые светлые положения буланжерита (R_g) одинаковы со спектральной кривой R галенита (в сине-зеленой и желтой областях), R_p по спектру изменяется от 38% (при $\lambda = 420$ нм) до 33% (при $\lambda = 700$ нм), $\Delta R_{отн.}$ оценивается в 17–19%. Сведения Ор-

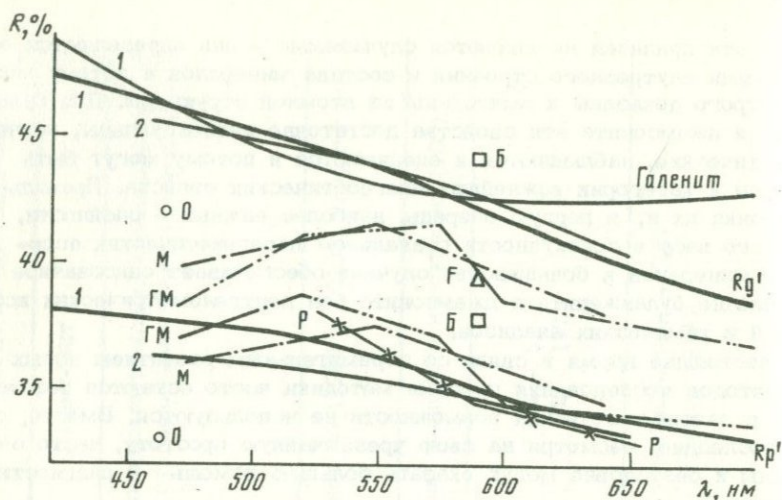


Рис. 20. Спектры отражения буланжерита: 1 - "Блеск" (Тамдыкол, Приложение, табл. I, анализы 11, 12), 2 - "ПИОР" (Вяльсов, 1969); литературные данные: М - Мозгова и др. (1968), ГМ - Gray, Millman (1962), Р - Рамдор, F - F - Folinsbee (1949), Б - Бови и Тэйлор (1958), О - Орсель (Рамдор, 1962)

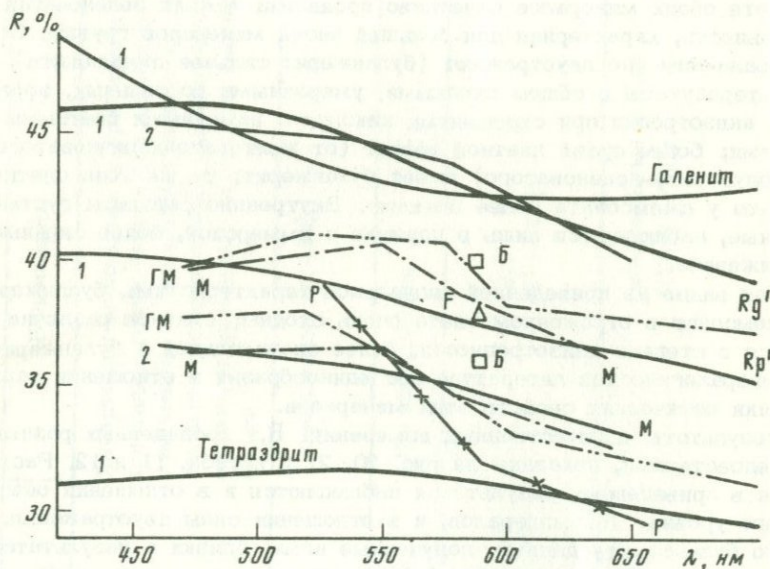


Рис. 21. Спектры отражения жемсонита: 1 - "Блеск" (Центральное, Приложение, табл. I, анализ 18), 2 - "ПИОР" (Вяльсов, 1969); литературные данные: М - Мозгова и др. (1968), ГМ - Gray, Millman (1962), Р - Рамдор (1962), F - Folinsbee (1949), Б - Бови и Тэйлор (1958)

Результаты измерения коэффициентов отражения
буланжерита в интервале спектра $\lambda = 420-700$ нм

$R, \%$ $\Delta R_{\text{отн.}}$ ед.	420	460	500	540	580	620	660	700	Автор; прибор, эталон
R _г	47,4	46,3	45,1	44,1	42,5	41,0	39,5	38,3	Чвилева; "Блеск", кремний
R _р	38,1	37,7	37,3	36,5	35,3	34,2	33,7	33,0	
$\Delta R_{\text{отн.}}$	0,20	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15	0,14	
R _г		45,6		44,0	43,0		40,3		Вяльсов; "Пиор", кремний; значения R даны для $\lambda =$ $= 650$ нм
R _р		36,2		35,5	34,7		33,2		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,20		0,19	0,19		0,18		
R _г		39,8		41,5	40,4		38,0		Мозгова и др., 1968, значения R даны для $\lambda = 472, 550,$ $579, 640$ нм
R _р		36,0		37,5	36,5		34,3		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,10		0,10	0,10		0,10		
R _г		38,3	41,0		41,4	38,5		36,8	Gray, Millman, 1962; ртуть. Значения R даны для $\lambda =$ $= 470, 520, 575,$ 600 нм
R _р		37,0	38,7		37,0	34,5		33,6	
R				38,0	34,5		33,0		Рамдор, 1962; фо- тометр-окуляр; значения R даны для $\lambda = 527,$ $589, 656$ нм
R _{инт.}				25,5	22,0		19,0		
R _г		42							Орсель, 1930; значения R даны для $\lambda = 465$ нм
R _р		33							
R	Белый свет				39,4				Folinsbee, 1949 фотоэлемент
R _г	Белый свет				44,1				Бови и Тейлор; 1959; фотоэле- мент, пирит
R _р	Белый свет				37,7				

селя (для синего света), Бови и Тейлора (для белого) правильно характеризуют силу двуотражения буланжерита, однако, по абсолютным значениям R данные Орсееля слишком занижены, а Бови и Тейлора -

Результаты измерения коэффициентов отражения
 джемсонита в интервале спектра $\lambda = 420-700$ нм

$R, \%$	420	460	500	540	580	620	660	700	Автор; прибор, эталон
$\Delta R_{\text{отн.}}$ доли ед.									
R_g	45,8	46,2	46,0	44,7	43,0	41,7	40,5	39,2	Чвилева; "Блеск", кремний
R_p	40,7	40,3	40,0	38,8	37,6	36,9	36,0	35,2	
$\Delta R_{\text{отн.}}$	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	
R_g		45,3		44,8	43,8		40,0		Вяльсов; "Пиор", кремний. Значения R даны для $\lambda =$ $= 650$ нм
R_p		36,5		35,7	35,0		33,0		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,20		0,20	0,20		0,17		
R_g		39,7		40,6	38,7		36,3		Мозгова и др., 1968; значения R даны для $\lambda = 472,$ 550, 579, 640 нм
R_p		36,3		36,5	34,7		32,5		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,09		0,10	0,10		0,10		
R_g		39,7	41,0		40,6	38,2		37,2	Gray, Millman, 1962; ртуть; значения R даны для $\lambda =$ $= 470, 520, 575,$ 600 нм
R_p		37,7	38,0		35,0	33,3		31,2	
R				39,0	32,0		29,5		Рамдор, 1962; фотометр-окуляр; значения R даны для $\lambda = 527, 589,$ 656 нм
$R_{\text{имм.}}$				24,0	20,0		17,0		
R	Белый свет				37,7				Folinsbee, 1949; фотоэлемент
R_g					40,0				Бови и Тэйлор, 1959; фотоэлемент пирит
R_p	Белый свет				36,6				

несколько высоки. Спектры отражения буланжерита, полученные Н.Н. Мозговой и др. (1968), близки к результатам Грейя и Милмана (1962); они ошибочны как в отношении формы кривых, так и в оценке максимального уровня R и силы двуотражения ($\Delta R_{\text{отн.}}$ буланжерита, по Мозговой и др., составляет всего лишь 10%).

Джемсонит, согласно измерениям на приборе "Блеск", в светлом положении на большей части спектра, так же как и буланжерит, очень близок к галениту; значения R_p находятся на уровне 41% в синей области и 35% - в красной. Данные Л.Н. Вяльсова для джемсонита близки к нашим по положению R_g ; кривая дисперсии R_p параллельна профилю кривой R_p , записанной на приборе "Блеск", но по абсолютным значениям на 4% ниже; в результате занижения положения R_p сила двуотражения джемсонита выразилась величиной 19-20%; такое высокое значение $\Delta R_{отн.}$ не соответствует реально наблюдаемому у минерала умеренному эффекту двуотражения. Занижение положения R_p могло произойти, очевидно, вследствие выбора исследователем для характеристики наименьшего коэффициента отражения самых низких значений R из сечения минерала, установленного недостаточно строго перпендикулярно к оптической оси микроскопа. В результатах, сообщаемых по джемсониту в работе Н.Н. Мозговой и др. (1968), сильно занижено (на 5-6% абсолютных) положение обоих главных коэффициентов отражения, спектральные кривые заметно отличаются по форме от кривых, полученных на приборах "Блеск" и "Пиор"; $\Delta R_{отн.}$, согласно этим авторам, составляет 10%, что в общем близко к реальной величине двуотражения минерала.

Противоположная нашей оценка силы двуотражения и связанных с ней эффектов анизотропии при скрещенных николях, содержится в монографии П.Рамдора (1962) и в методическом руководстве И.Вольнского (1949). Так, джемсонит эти авторы относят к хорошо двуотражающим минералам, сообщая для него $\Delta R_{отн.} \sim 15\%$, двуотражение же буланжерита характеризуют как слабое, едва заметное в воздухе, и более слабое, чем у джемсонита ($\sim 10\%$). Такая противоположность оценки степени анизотропности буланжерита и джемсонита явилась, очевидно, следствием неправильного первоначального определения минералов под микроскопом. Перепутанное описание оптических свойств этих минералов было допущено еще в первом руководстве Рамдора и Шнейдерхена (1931), откуда перешло в монографию Рамдора (1955, 1960, 1962) и в наши отечественные справочные и методические руководства (Вольнский, 1949; Юшко, 1949, 1966; Вахромеев, 1950, 1956; Минералы, 1962; Лазаренко, 1963, и др.). Так как книги Рамдора и Вольнского являлись (и являются) основными методическими и справочными пособиями, используемыми при диагностике минералов в отраженном свете, перепутанная оценка главных оптических свойств буланжерита и джемсонита явилась причиной дальнейших систематических ошибок в определениях этих минералов в полированных шлифах. Такими ошибками страдает литература по сульфантимонитам 30-50-х годов, когда диагностика рудных минералов основывалась главным образом на определении их в шлифах, в отраженном свете, а рентгенометрические исследования, которые могли бы гарантировать от подобных ошибок, еще не вошли в массовую практику минералогов.

Заканчивая обсуждение главных оптических свойств буланжерита и джемсонита, автор еще раз обращает внимание на трудности, которые возникают при определении этих минералов в полированных шлифах.

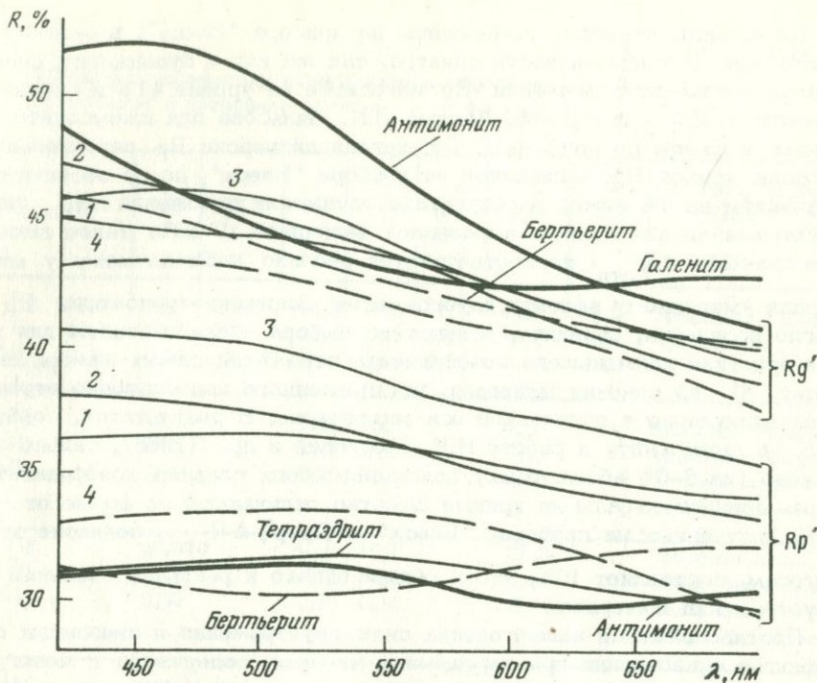


Рис. 22. Спектры отражения менегинита (1), буланжерита (2), джемсонита (3) и плагнионита (4) в сравнении с галенитом, антимонитом, бертьеритом и тетраэдритом; результаты исследования на приборе "Блеск"

Если иметь в виду только главные сечения, которые мы рассматривали выше, нетрудно обнаружить вполне ощутимые различия (рис. 22). Наиболее очевидны эти различия в положении спектральных кривых R_p' : кривая R_p' буланжерита, параллельная на всем интервале видимого спектра кривой R_p' джемсонита, расположена на 3% ниже. В кривых R_g , которые по абсолютным значениям R у обоих минералов практически одинаковы, наблюдаются небольшие различия в характере профиля в области сине-зеленого спектра. Так, у джемсонита на этом участке фиксируется небольшой широкий максимум (λ 440–500 нм), за которым к ультрафиолетовому концу спектра намечается снижение значений R . Кривая R_g буланжерита представляет собой практически прямую линию, наклоненную к красному участку спектра и монотонно поднимающуюся к синему; максимум на кривой R_g буланжерита, очевидно, находится за пределами видимого спектра, в ультрафиолете. Более низкое положение R_p у буланжерита при одинаковом в общем уровне R_g определяет более значительное (до сильного) двуотражение этого минерала. В промежуточных сечениях отмеченные различия будут менее ощутимы. Необходимо заметить, что

получение информации о максимальном двуотражении минерала сопряжено с известными трудностями в осуществлении контроля измеряемых сечений. Промежуточные сечения, ошибочно принятые за главные, могут ввести в заблуждение и способствовать неправильному определению минерала. Поэтому диагностировать буланжерит и джемсонит так же, как и другие анизотропные минералы, по одному зерну, по одному случайному сечению, нельзя. Эффективную помощь в выборе необходимого сечения могут оказать исследования минералов в сходящемся свете.

Механические свойства. Твердость буланжерита и джемсонита по Талмейджу-В. По относительному рельефу минералы принадлежат к I группе: оба минерала имеют рельеф незначительно ниже галенита¹. Это свойство общее для всех сульфоантимонитов свинца и поэтому не может быть использовано для их отличия. По-видимому, более определенной и надежной величиной, характеризующей твердость буланжерита и джемсонита, является твердость по микровдавливанию. Измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке в 20 г, она находится в пределах: для джемсонита 92-147 кгс/мм², для буланжерита обычного 127-172 кгс/мм², для буланжерита с висмутом 100-165 кгс/мм². Наиболее близкие к нашим значения твердости по микровдавливанию сообщают Бови и Тейлор: для буланжерита 157-183 и для джемсонита 96-121 (см. табл. 8).

Кристаллографические особенности. Буланжерит и джемсонит в полированных шлифах имеют обычно удлиненную форму (таблитчатые и столбчатые кристаллы). Ромбовидные поперечные сечения, по-видимому, более характерны для джемсонита. Оба минерала характеризуются совершенной спайностью || удлинению, но в полированных шлифах эта спайность не всегда достаточно очевидна. У джемсонита, в отличие от буланжерита, отчетливо проявлена хорошая поперечная спайность по третьему пинакoidу (см. обсуждение физических признаков); чрезвычайно характерным для джемсонита является также полисинтетическое двойникование. У буланжерита двойники неизвестны. Зональное строение минералов не наблюдалось.

Условия нахождения

Буланжерит считается наиболее широко распространенным минералом в группе сульфоантимонитов свинца; джемсонит же одни исследователи относят к минералам редким (Лазаренко, 1963, 1971) другие, хотя и называют его распространенным, но отмечают, что месторождения, в которых он является главным минералом, крайне немногочисленны (Минералы, 1960; Рамдор, 1962). По нашему мнению, буланжерит и джемсонит являются одинаково распространенными минералами, в ряде месторождений образующими значительные само-

¹Соотношения джемсонита с галенитом изучались в искусственно приготовленном образце, так как в изученных природных образцах минерал не наблюдался в контакте с галенитом.

стоятельные скопления. Более редкое упоминание джемсонита объяснено неправильному определению этого минерала. Как уже обсуждалось выше, буланжерит и джемсонит в минералогической практике систематически путали. В зарубежной практике, согласно исследованиям Вегу (1940), буланжерит часто определялся как джемсонит; как показало проведенное нами детальное изучение коллекций сульфоантимонитов свинца в центральных минералогических музеях (АН СССР в Москве; Горного музея в Ленинграде; Политехнического института в Иркутске), а также сульфоантимонитовых руд некоторых полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья, в практике определения этих минералов в отечественных месторождениях чаще происходила обратная ошибка, и поэтому основная масса джемсонитов оказалась в коллекциях с этикеткой "буланжерит" (см. раздел "Изученный материал"). Благодаря этим ошибкам, по-видимому, и сложилось неправильное представление о малой распространенности джемсонита. Так как минералы эти часто путали между собой и с другими минералами группы, в описания условий нахождения их в природе и ассоциаций совместно с ними образовавшихся минералов были внесены неточности. В справочниках указано, что буланжерит и джемсонит наиболее часто наблюдаются в свинцово-цинковых месторождениях средних и низких температур, где ассоциируют с другими сульфоантимонитами свинца, с галенитом, сфалеритом, бурнонитом, халькопиритом, антимонитом, пиритом, арсенопиритом, тетраэдритом и некоторыми другими сложными сульфидами. Были описаны также совместные ориентированные сростки буланжерита с джемсонитом.

На основании изученного фактического материала мы пришли к заключению, что для буланжерита и джемсонита, встречающихся в одних и тех же или близких по типу месторождениях, характерны, по-видимому, различные условия образования. Так, буланжерит систематически наблюдается в тесной парагенетической ассоциации с галенитом, между тем, как ни в одном образце джемсонита галенит обнаружен не был. Совместные выделения буланжерита и джемсонита, описанные в литературе, нами также встречены не были. Джемсонит в образцах обычно присутствовал в ассоциации с пиритом, пирротинном, высокожелезистым сфалеритом.

Отсутствие в изученных образцах в ассоциации с галенитом и буланжеритом джемсонита, по-видимому, не является случайным обстоятельством. Джемсонит представляет собой сульфоантимонит, по содержанию свинца более бедный, чем буланжерит (см. табл. 1). Очевидно, он образуется в условиях пониженной концентрации свинца, недостаточной уже для образования буланжерита, при определенном режиме железа (железо входит в состав джемсонита) и поэтому не обнаруживается в тесной ассоциации с галенитом и буланжеритом. Тот факт, что "джемсонит обычно развивается самостоятельно", а не совместно с галенитом, отмечается также и П.Рамдором (1962), хотя тем же автором были описаны и мирмекитовые сростания джемсонита с галенитом.

Нуждаются в уточнении указанные в литературе случаи тесной ассоциации буланжерита с антимонитом и замещение последнего буланжеритом (Рамдор, 1962).

Буланжерит в СССР наиболее широко распространен в месторождениях Нагольного Кряжа, в некоторых свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья; описан в ряде месторождений Якутии, Средней Азии. За рубежом к наиболее известным проявлениям буланжерита относят месторождения Сала, Боливен, Назафельд (Швеция); Покау-Ленгефельд, Саксония; Вольфсберг, Нейдорф (ФРГ); Мон-Люкон (Франция); Тампильо (Мексика); Колкечака, Уануни, Иска-Иска (Боливия) и др.; Суливан (Британская Колумбия); Пршибрам (Чехословакия); Трпча (Югославия), Бая-Маре (Румыния) — Antonovici, 1969-1970, Корнуолл (Англия) — Hobson, 1972.

Джемсонит на территории Советского Союза в значительных количествах наблюдается в рудах многих полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья. Он является главным сульфантимонитом свинца в некоторых месторождениях Нерчинско-Заводской группы — Центральном, Спасском, Октябрьском, в значительных количествах наблюдается в рудах Благодатского, Савинского № 5, Кличкинского и Запокровского месторождений. Как показало изучение коллекций сульфантимонитов в музеях и керновых фондов Горно-Зерентуйской экспедиции, джемсонит в этих месторождениях принимался за буланжерит (см. раздел "Изученный материал"), благодаря чему и считалось, что в месторождениях Восточного Забайкалья широко развит только буланжерит. В действительности, картина, по-видимому, обратная — более обычным в Восточно-Забайкальских рудах является джемсонит.

Джемсонит описан также в Смирновском, Ивановском, Екатеринбургском месторождениях, в Дарасуне, в Лякане (Таджикская ССР), в Нагольном Кряже (Украина), в некоторых полиметаллических месторождениях Рудного Алтая, Приморского края.

Из зарубежных месторождений в качестве главных минералов джемсонит указывается в месторождениях Адреасберг и Нейдорф (ГДР), Корнуолл (Англия), Итос, Оруро, Потози, Попо (Боливия), Сала (Швеция), Идка (Румыния), Пршибрам (Чехословакия), а также в Низких Татрах (Нак, 1958).

Сходство и отличия

В практике определения буланжерита и джемсонита имелись различные диагностические ошибки. Наиболее часто эти минералы путали друг с другом, иногда — с цинкенимом; в качестве буланжерита постоянно определялся менегинит, к джемсониту нередко относили антимонит и бертьерит. Многие из этих ошибок происходили, однако, не столько вследствие действительной близости свойств минералов, сколько от недостаточного значения этих свойств, из-за нечеткости характеристик их в справочниках и вследствие несовершенств приемов диагностики. Общим для всех перечисленных минералов является внешний игольчатый облик индивидов и анизотропный характер оптических свойств в отраженном свете; однако, уже при беглом качественном сравнении ряда свойств обнаруживаются и определенные черты отличий. В результате происходящих в настоящее время в рудной минералогии ревизии

и пересмотра справочных сведений, уточнения качественных и получения количественных характеристик оптических, механических и других физических свойств, многие ошибки будут исключены.

Проще других минералов от буланжерита и джемсонита отличить антимонит и бертьерит. Антимонит в макровыделениях легко отличается более совершенной спайностью с характерной штриховкой на спайных плоскостях, низким удельным весом (4,6), необычайной хрупкостью и постоянным нахождением в сурьмяных рудах. В шлифах этот минерал характеризуется более сильным двуотражением и анизотропией, отсутствием четко выраженного зеленоватого тона в цвете, заметно более низкими значениями наименьшего коэффициента отражения (рис.22)

Бертьерит, очень сходный с джемсонитом по характеру спайности, отличается от джемсонита и буланжерита низким удельным весом (4,6), в отраженном свете - сильным двуотражением (см. рис. 22) в розовато-коричневых тонах и сильными цветными эффектами анизотропии; так же как и антимонит, является типоморфным минералом сурьмяных руд.

Из исходных с буланжеритом и джемсонитом по внешнему облику игольчатых сульфоантимонитов свинца, наиболее легко отличим цинкенин, как в макровыделениях (несовершенной спайностью, более низким удельным весом - 5,3, постоянным нахождением в антимонитовых рудах), так и под микроскопом (слабым двуотражением, самыми высокими в группе сульфоантимонитов свинца значениями микротвердости).

Из названных выше минералов ближе других по свойствам менегинит и буланжерит. Наиболее надежными средствами отличия этих двух действительно очень похожих минералов продолжают оставаться химический анализ и рентгенометрические данные.

Путаница буланжерита с джемсонитом, носившая в минералогической практике систематический характер, происходила вследствие близости многих их свойств, а также вследствие ошибочных характеристик, даваемых этим свойствам в справочниках.

Проведенным нами изучением уточнены внешние физические свойства: характер спайности, агрегатов, удельные веса; эти свойства буланжерита и джемсонита оказались индивидуальными, уверенно отличающимися минералы в макровыделениях (см. раздел о внешних физических свойствах).

Наибольшие затруднения возникают при определении микровыделений, так как буланжерит и джемсонит в отраженном свете, как это детально обсуждалось в разделе микроскопия, характеризуются близкими оптическими свойствами. До сих пор трудности микродиагностики усугублялись в связи с тем, что характеристики близких оптических свойств этих минералов в литературе были перепутаны; в большинстве случаев особенности, характеризующие буланжерит, были приписаны джемсониту и наоборот. В главных сечениях эти минералы различаются по силе двуотражения, более значительной у буланжерита, и по характеру кривых R_g .

Следующей константой, которая может помочь при диагностике микровыделений буланжерита и джемсонита, является твердость по микровдавливанию; для джемсонита она находится в пределах 92-147 кгс/мм², в то время как буланжерит характеризуется более высокими значениями (127-172 кгс/мм²).

Буланжерит

- Сульфосоль. Пластинчато-призматические до спутанно-волокнистых агрегаты буланжерита в ассоциации со сфалеритом, пиритом, золотом в кварц-карбонатной породе. Тамдыкол, Средняя Азия; обр. В.П. Федорчука.
- Сульфосоль. Пластинчато-призматические агрегаты буланжерита в ассоциациях: 1) с пиритом в кварце, 2) с геокронитом и галенитом в кварце. Месторождение в Алайском хребте; обр. В.П. Федорчука.
- Буланжерит. Тонкозернистые, игольчатые и тонковолокнистые агрегаты буланжерита в кварце и анкерите, обычно в тесной ассоциации с галенитом, сфалеритом и бурнонитом. Нагольный Кряж, Украина. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 50273, 41603, 41582, 42590, 42592, 42595, 42589.
- Сульфосоль. Спутанно-волокнистые, войлокоподобные образования буланжерита в пустотах окварцованного известняка. Дарасун, Забайкалье; обр. И.Н. Эпова, Р.А. Амосова.
- Буланжерит. Тонкоигольчатые агрегаты в пустотах породы. Центральное, Восточное Забайкалье; обр. В.П. Гончарова.
- Буланжерит. Тонковолокнистые агрегаты буланжерита в карбонате. Са-ла, Швеция; Горный музей, Ленинград; обр. 136/5, 136/6, К-123/2.
- Буланжерит. Спутанно-волокнистый агрегат сульфоантимонита в ассоциации с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой. Савинское № 5, Восточное Забайкалье; обр. Г.М. Мейтува.
- Сульфоантимонит. Тонкий войлок игольчатого буланжерита в карбонате. Пршибрам, Чехословакия.
- Джемсонит. Тонкие, длинные, сильно изогнутые иглы буланжерита, легко расщепляющиеся по спайности, нарастающие на водянопрозрачные кристаллы кварца. Пршибрам, Чехословакия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 39425.
- Джемсонит. Тонковолокнистый плотный агрегат буланжерита в карбонате. Пршибрам, Чехословакия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47762.
- Джемсонит. Войлок тонких, гибких, длиноволокнистых кристаллов буланжерита с совершенной спайностью по длине. Боттино, Италия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 19438.
- Джемсонит. Тонкопризматический агрегат буланжерита в ассоциации с галенитом и сфалеритом. Зееган, Тасмания. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 62218.
- Цинкениит. Спутанно-волокнистый агрегат длинных, тонких, гибких игл буланжерита с совершенной спайностью по длине индивидов. Корнуолл, Англия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47719.
- Цинкениит. Буланжерит - короткопризматический, таблитчатый с совершенной спайностью по длине зерен в ассоциации с галенитом, сфалеритом в кварце. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47720.

¹См. примечание к изученному материалу по геокрониту.

Менегинит. Друза тонкоигольчатых кристаллов на шетке кварца; в кварце -сфалерит, блеклая руда. Дарасун, Восточное Забайкалье. Минералогический музей Иркутского Политехнического института; обр. 1233.

Менегинит. Спутанно-волокнуистый агрегат тонкопризматических кристаллов с совершенной спайностью на шетке кварца. Дарасун, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 50133.

Менегинит. Войлок тонких, гибких иголочек с совершенной спайностью по длине. Боттино, Италия. Горный музей, Ленинград; обр. 152/6.

Гетероморфит. Войлок (в двух образцах в ассоциации с галенитом) на шетке кварца. Пршибрам, Чехословакия. Горный музей, Ленинград; обр. 132/5, К-119/1, К-119/4.

Гетероморфит. Войлокообразные агрегаты, выросшие в пустотах на шетке сфалерита и галенита. Мексика. Горный музей, Ленинград; обр. 132/6.

Джемсонит

Джемсонит. Слегка расходящиеся радиально-лучистые агрегаты призматически столбчатых зерен с совершенной спайностью по длине и хорошей поперечной; в образце - пирит и кварц. Центральное, Восточное Забайкалье; обр. К.Ф. Кузнецова.

Джемсонит. Несколько образцов сплошной крупнокристаллической джемсонитовой руды с вкрапленностью пирита. Джемсонит в виде параллельно-шестоватых, призматически столбчатых агрегатов с совершенной спайностью по длине зерен и хорошей поперек. Центральное, Восточное Забайкалье, отвалы штольни.

Буланжерит. Образцы, аналогичные описанным выше. Центральное, керновый материал Горно-Зерентуйской экспедиции.

Буланжерит. Образцы, аналогичные описанным выше. Музей Иркутского Политехнического института; обр. 13406, 13425.

Джемсонит. Обр. аналогичен описанному. Спасское, Восточное Забайкалье.

Джемсонит. Среднезернистый джемсонит в виде радиально-лучистых, слабо расходящихся агрегатов шестоватых зерен с четко выраженными двумя направлениями спайности. В образце - вкрапленность пирита и кварц. Савинское № 5, Восточное Забайкалье.

Джемсонит. Среднезернистый джемсонит в ассоциации с пиритом. Кочкарь (жила Зеленая), Урал. Геологический Свердловский музей; обр. 40330.

Джемсонит. Мелкозернистый типичный¹ джемсонит в ассоциации с пиритом, арсенопиритом, золотом в кварце. Ак-Терек (верховья р.Лайляк, Средняя Азия).

¹ Все изученные образцы джемсонитов имели типичное для этого минерала призматически-столбчатое строение агрегатов, с совершенной спайностью по длине зерен и хорошей поперек удлинения. Для сокращения текста эти черты морфологии в дальнейшем в описаниях отдельных образцов не повторяются.

- Джемсонит. Мономинеральный крупнозернистый агрегат параллельно-шестоватого джемсонита. Кутна Гора, Чехословакия; обр. Хака.
- Джемсонит. Типичный джемсонит, среднезернистый, с пиритом и кварцем. Таочан, Китай.
- Джемсонит. Мономинеральные крупнокристаллические агрегаты параллельно-шестоватого типичного джемсонита. Кавник, Чехословакия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47759, 47760.
- Джемсонит. Мелкозернистый, призматически столбчатый, типичный джемсонит в ассоциации с пиритом и темно-бурым сфалеритом. Комсток, Калифорния. Горный музей, Ленинград; обр. 131/14.
- Джемсонит. Мелкозернистый типичный джемсонит с пиритом в кварце. Вольфсберг, ФРГ. Горный музей, Ленинград; обр. К-118/2.
- Джемсонит. Мономинеральный мелкозернистый агрегат типичного джемсонита; частично окислен. Корнуолл, Англия. Горный музей, Ленинград; обр. К-118/3.
- Джемсонит. Мономинеральный, очень тонкозернистый джемсонит с отчетливо различимыми двумя направлениями спайности. Корнуолл, Англия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 13071.
- Буланжерит. Крупнокристаллический параллельно-столбчатый, типичный джемсонит с бедной вкрапленностью пирита. Кличкинский рудник, Восточное Забайкалье. Горный музей, Ленинград; обр. 136/1.
- Буланжерит. Крупнокристаллический агрегат шестоватых зерен типичного джемсонита со сфалеритом темной окраски и пиритом. Благодатский прииск, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 53423.
- Буланжерит. Среднезернистый типичный джемсонит с редкой вкрапленностью пирита. Благодатский прииск. Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 53697.
- Буланжерит. Среднезернистый типичный джемсонит. Благодатское, Восточное Забайкалье. Музей Иркутского Политехнического института; обр. 17393.
- Буланжерит. Мелкозернистый типичный джемсонит в ассоциации с пиритом. Руда полосчатой текстуры. Запокровское, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 57641.
- Буланжерит. Прожилок мелкозернистого, типичного джемсонита в пирротине. Запокровское, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 57642.
- Буланжерит. Мелкозернистый, призматически-шестоватый, типичный джемсонит с пирротином и пиритом. Запокровское, Восточное Забайкалье. Горный музей, Ленинград; обр. 136/13.
- Буланжерит. Крупнокристаллический, призматически-столбчатый, типичный джемсонит с вкрапленностью кристаллов пирита. Нерчинский округ, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 28333.
- Буланжерит. Мелкозернистый джемсонит в ассоциации с хлоритом. Дарасун, Восточное Забайкалье. Музей Иркутского Политехнического института; обр. 8270.
- Цинкениит. Мелкозернистый типичный джемсонит в ассоциации с темно-бурым сфалеритом, пиритом, пирротином, арсенопиритом. Морей Майн,

Невада, Северная Америка. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 2598.

Цинкениит. Аналогичен образцу 2598. Морей Майн, Невада, Северная Америка. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 39557,

Гетероморфит. Войлок тонковолокнистых кристаллов джемсонита на шетке кварца. Фельшебания, Венгрия. Горный музей, Ленинград; обр. 132/2, 132/3.

Таблитчатые сульфoантимониты свинца
(отношение $PbS:Sb_2S_3 = 2,25:1 - 0,75:1$)

Семсейит и описываемые далее гетероморфит, плагионит и фюлэппит в общей группе сульфoантимонитов свинца образуют обособленную группу таблитчатых минералов, исключительно близких по структуре. Впервые таблитчатые сульфoантимониты были объединены в группу в 1899 г. Л.Спенсером (Spenser, 1899) на основании сходства кристаллографических характеристик и закономерного изменения химических составов минералов. Исследованиями Спенсера (Spenser, 1899; 1907), а затем Э.Нафилда и М.Пикока (Nuffield, Peacock, 1945; Nuffield, 1946) и в последние годы Д.Джамбора (Jambor, 1969) показано, что физические свойства этих минералов, и прежде всего объемы элементарных ячеек и удельные веса, находятся в аддитивной зависимости от изменений в химическом составе (табл. 13).

Параметры элементарных ячеек с увеличением содержания PbS в минерале возрастают неодинаково. Наиболее значительно изменяется c_0 : от фюлэппита к семсейиту c_0 возрастает на $7,6 \text{ \AA}$, в то время как a_0 и b_0 увеличиваются каждый лишь на $0,4 \text{ \AA}$ (табл. 14).

Вследствие исключительной структурной близости таблитчатых сульфoантимонитов большое сходство обнаруживается и в рентгенометрических характеристиках этих минералов. Основные отражения на рентгенограммах порошка у всех минералов группы наблюдаются в пределах четырех узких интервалов: $3,89-3,82$; $3,29-3,20$; $3,00-2,90$; $2,17-2,12 \text{ \AA}$ (Приложение, табл. XIII; Мозгова, Бородаев, 1972). Некоторые различия, обнаруживаемые при сопоставлении имеющихся рентгенограмм всех четырех минералов группы, выражаются в небольших вариациях межплоскостных расстояний основных отражений, в изменении интенсивности аналогичных отражений, в слиянии или расщеплении отдельных линий, в появлении дополнительных отражений. Вместе с тем, как показывает анализ тех же материалов, рентгенограммы, приписываемые одному и тому же минеральному виду, иногда заметно различаются между собой. Такие несоответствия имеются в рентгенограммах плагионитов и семсейитов. Разноречивость рентгенометрических сведений при большом сходстве дебаеграмм затрудняет индивидуализацию минералов внутри группы - уверенное распознавание таблитчатых сульфoантимонитов только на основании рентгенограмм не всегда оказывается возможным; при диагностике этих минералов необходимы определения химического состава.

Таблица 13

Составы, объемы элементарных ячеек и удельные веса минералов плагионитовой группы (по Jambor, 1969)

Минерал	PbS: :Sb ₂ S ₃	V, ° А	Удельный вес		Работы, из кото- рых взяты резуль- таты по измере- ниям уд.весов
			вычис- лен из V	измерен- ный	
Семсейит	9:4	3838	6,08	6,03	Nuffield, Peacock (1945)
Гетероморфит	7:4	3443	5,86	5,73	Palache et al. (1944)
Плагионит	5:4	3038	5,58	5,54	Nuffield, Peacock (1945)
Фюлэппит	3:4	2645	5,21	5,22	Nuffield (1946)

Таблица 14

Параметры элементарных ячеек минералов плагионитовой группы (по Jambor, 1969)

Минерал	a ₀	b ₀	c ₀	β	c·sin β
Семсейит	13,64	11,96	24,46	105°52'	23,5
Гетероморфит	13,60	11,93	21,22	90°50'	21,3
Плагионит	13,47	11,82	19,99	107°20'	19,1
Фюлэппит	13,41	11,71	16,90	94°43'	16,8

Систематическое изучение химических составов минералов плагионитовой группы проведено в последние годы на рентгеноспектральном микроанализаторе Н.Н. Мозговой и Ю.С. Бородаевым (1972). Исследуя большое количество образцов с различных месторождений и сопоставив результаты с анализами, имеющимися в литературе, авторы показали, что соотношения свинца, сурьмы и серы в реальных анализах минералов во многих случаях не совпадают с соотношениями этих элементов в идеализированных формулах семсейита, гетероморфита и плагионита. Связывая эти отклонения с разноречивостью рентгенометрических данных, Н.Н. Мозгова и Ю.С. Бородаев приходят к выводу, что отклонения в соотношениях элементов не случайны, и высказывают предположение о возможном существовании в природе, помимо известных в настоящее время четырех минералов, еще большего числа индивидуализированных членов группы, отличающихся между собой по количеству PbS.

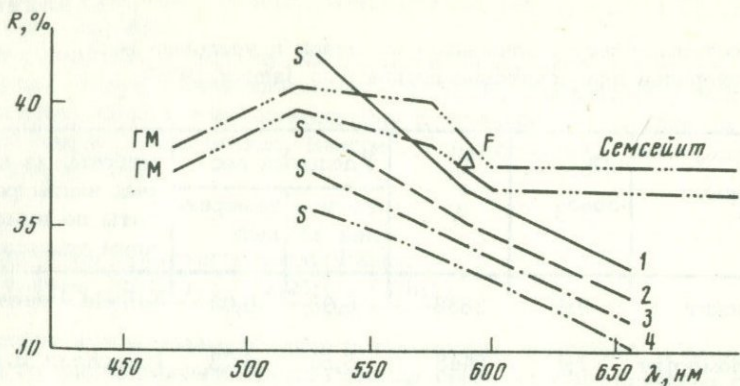


Рис. 23. Спектры отражения семсейита (1), гетероморфита (2), плагионита (3) и фюлэппита (4) по Sztrokay, 1953 (S); Данные для семсейита: ГМ - Gray, Millman (1962), F - Folinsbee (1949)

Большая структурная близость минералов плагионитовой группы определяет и сходство их многих внешних физических свойств: морфологии агрегатов, спайности, твердости. Для минералов характерен таблитчатый облик, спайность в одном направлении (112), твердость $\sim 2,5$ (см. табл. 15, 17, 19, 21). Анализ физических свойств минералов в связи со структурными особенностями содержится в работе Seung-Am, Wuensch (1970). Эти авторы, занимающиеся исследованием внутренней структуры плагионита и других минералов группы, объясняют наблюдаемые различия в степени совершенства спайности различиями в химическом составе: степень совершенства спайности повышается по мере увеличения содержания свинца - наименее совершенная спайность у фюлэппита, отчетливая - у семсейита.

Свойства, наблюдаемые под микроскопом в отраженном свете минералов плагионитовой группы, изучены слабо и в справочной литературе охарактеризованы недостаточно определенно. Исходя из структурной близости минералов, закономерно ожидать и близкие оптические свойства в поляризованном свете. Однако приводимые в справочниках визуальные характеристики не показывают идентичности свойств. Количественные исследования спектров отражения семсейита и плагионита проведены Строкэй и Бальи (Sztrokay, Baliy, 1953): измерения R в изотропных сечениях минералов в плоскости (001) выявили подобие спектральных профилей минералов и показали прямолинейную зависимость интенсивности отражения от содержания свинца (рис. 23).

Близкими для всех минералов группы являются, очевидно, и условия образования. Известные к настоящему времени немногочисленные находки этих очень редких сульфоантимонитов ограничиваются лишь сурьмяными рудами. Классическим месторождением, где известны три минерала группы и где были сделаны первые находки этих минералов, является Вольфсберг.

Семсейит

Общие сведения

Название дано по имени А.Семсей, венгерского коллекционера минералов.

Таблица 15

Сводная таблица свойств семсейита

Химическая формула и состав	$9\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$ Теор. состав, вес.% Pb 53,10 Sb 27,73 S 19,17
Примеси	Незначительные количества Ag, Cu, Fe, возможно, обязаны механическим примесям
Кристаллография	Монокл.с.; C 2/c $a_0 = 13,64$ $b_0 = 11,96$ $c_0 = 24,46$ $\beta = 105^{\circ}52'$ $Z = 4$ (Jambor, 1969)
Блеск, цвет, черта	Непрозрачен, с металлическим блеском; цвет свинцово-серый, в свежем изломе - оловянно-белый, иногда с голубовато-коричневой побежалостью; черта черная
Морфология	Таблитчатые по (001), призматические по (010) кристаллы с округлыми гранями, часто сферические агрегаты на галените
Спайность	По (112) - отчетливая; в шлифе - недостоверна
Двойники	Не наблюдались
Твердость	2,5 (по Моосу)
Удельный вес	6,03-6,08, вычисленный - 6,08

В опубликованных работах имеется несколько дебаеграмм семсейита. В картотеке ASTM приводится дебаеграмма для материала из Кисбаньи (по Nuffield, Peacock, 1945). Главными линиями в ней являются: 3,38 (I-80), 3,27 (I-100) и 2,98 (I-90). В справочнике В.И. Михеева (Михеев, 1957) приведены межплоскостные расстояния для семсейита из месторождения Вольфсберг, заимствованные им из XRDC (1944 П-1132). При хорошем совпадении линий с $d = 2,97$ (I-10), две другие сильные линии 3,32 (I-7) и 3,20 (I-10) значительно отличаются от соответствующих линий в дебаеграмме Нафилда. Дебаеграммы семсейита из месторождения Рецбанья (образец из коллекции Мердоcha) (Михеев, 1957) и из месторождения Азатек (Сагателян, 1957, 1961) отличаются как от семсейита из Кисбаньи, так и от семсейита из месторождения Вольфсберг - в дебаеграмме семсейита Рецбаньи совершенно исчезает линия 3,38, в Азатекском образце появляются две новые линии 2,81 и 2,70 максимальной интенсивности.

Таким образом, рентгенометрические данные, имеющиеся в литературе по семсейиту, разноречивы, поэтому уверенная диагностика минерала на основании только дебаеграмм невозможна.

Микроскопия

Оптические свойства семсейита изучены недостаточно. Результаты количественных измерений коэффициентов отражения содержатся лишь в работах прошлых лет. Folinsbee (1949) значения R получены в белом неполяризованном свете, Sztrokay, Baliy (1953) - для изотропного сечения минерала; сведения этих авторов так же, как и данные

Таблица 1

Значения коэффициентов отражения семсейита
в интервале спектра 470-700 нм

R, %	470	520	527	575	589	600	656	700	Автор; способ измерения, эталон
R _g	38,2	40,6		40,0		37,4		37,4	Gray, Millman,
R _p	37,2	39,7		38,2		36,5		36,3	1962; ртуть
R			42,0		36,4		33,3		Sztrokay, Baliy,
R _{имм}			27,7		25,1		22,9		1953; фотометр-окуляр
R		Белый свет			37,7				Folinsbee, 1949; фотоэлемент

Graу, Millman, 1962 (табл. 16, рис. 23), характеризуют, таким образом, только общий уровень интенсивности отражения семсейита и не дают представления о его анизотропии.

Автор не располагал образцами семсейита. Приводимая ниже визуальная характеристика оптических свойств, а также сведения о механических и кристаллографических свойствах, заимствованы из справочника Рамдора (1962).

В отраженном свете семсейит галениново-белый со слабым зеленоватым оттенком, несколько изменяющимся в зависимости от сечения. Двухотражение в воздухе слабое, отчетливое лишь по границам зерен и при наблюдениях с иммерсией: \parallel удлинению подобен галениту, но со слабым желтовато-зеленым оттенком, в \perp направлении значительно более темный, зеленовато-серый, по цвету довольно близкий к блеклой руде, но светлее. В скрещенных николях заметно анизотропен. Погасание прямое, но полной темноты в большинстве сечений не наступает. Внутренние рефлексы не наблюдались.

Механические свойства. Твердость по Талмейджу-С. По относительному рельефу принадлежит к I группе, отчетливо ниже галенита и, видимо, немного ниже геокронита (Вольнский, 1947). Полируется лучше галенита, без царапин.

Кристаллографические особенности. Сечения неправильной, но приблизительно изометричной формы; спайность в шлифе не достоверна.

Условия нахождения

Семсейит является редким минералом. Он известен лишь в некоторых сурьмяно-полиметаллических и сурьмяных месторождениях Румынии (Бая-Сприе, Бая-Маре, Хержа) - Antonovici, Borcea, 1968-1969, Чехословакии (Штефание, Пришибрам- Vrabka, 1954), ФРГ (Вольфсберг), в серебряно-оловорудном месторождении Боливии (Оруро). Описан в ассоциации с галенитом, на котором образует корочки или сферические агрегаты таблитчатых кристаллов; со сфалеритом, пиритом, пиротином. Указывается также ассоциация семсейита с антимонитом, сурьмой и с сульфосолями свинца (Минералы, 1960; Рамдор, 1962). Достоверных находок семсейита в месторождениях Советского Союза неизвестно.

Сходство и отличия

Диагностика семсейита недостаточно исследована. По рентгенометрическим данным минерал очень близок к плагиониту: некоторые из имеющихся в литературе дебаеграмм семсейитов обнаруживают по межплоскостным расстояниям большее сходство с плагионитом, чем между собой. Имея в виду это обстоятельство, очевидно, можно предполагать, что и под микроскопом семсейит должен быть очень сходен с плагионитом. В настоящее время уверенное определение семсейита без исследований химического состава не может быть осуществлено.

Гетероморфит

Общие сведения

Впервые наименование "гетероморфит" (от греческого этерос - иной, морфе - форма) было дано Zinken, Rammelsberg (1849) плотному минералу из месторождения Вольфсберг, отличающемуся по морфологии от описанной ранее из того же месторождения "перистой руды". Для этого минерала Раммельсбергом был определен состав $3\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$, ранее найденный Розе для "перистой руды". Pisani (1876) под названием "гетероморфит" описал материал из Арнсберга и определил для него состав $7\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$. Позднее в 1886 г. Раммельсберг нашел, что термин "гетероморфит" является излишним и полагал, что описанный ранее под этим названием плотный сплошной материал из Вольфсберга и кристаллические образования из Арнсберга являются джемсонитом. Однако Sanderberger, Kaiser (1883), а также в начале Spenser (1897) кристаллы из Арнсберга отнесли к плагиониту. Позднее Spenser (1899) определил их как новый минеральный вид, промежуточный между плагионитом и семсейитом с соответствующей формулой Пизани и полагал, что для этого материала можно было бы оставить название гетероморфит. Спенсер также считал, что первоначальный гетероморфит Раммельсберга скорее всего мог бы быть отнесен к группе плагионит-семсейита. Как показывает анализ литературы, сульфоантимониты, получившие наименование гетероморфит, не были изучены достаточно полно. Рентгенометрические определения были выполнены только на материале из Вольфсберга (Hiller, 1939) и не сопровождалось химическими исследованиями, в то же время для химически проанализированного материала из Арнсберга рентгенометрические данные отсутствуют. Таким образом, соотношение гетероморфита из Арнсберга с материалом Цинкена и Раммельсберга из Вольфсберга до последнего времени оставалось неясным. Следующая находка гетероморфита была сделана почти сто лет спустя в Советском Союзе, в сурьмяном месторождении Кара-Камар, Таджикской ССР (Мозгова и др., 1967; Волгин, устное сообщение). Гетероморфит был определен по результатам полного химического анализа. Рентгенограмма, полученная для этого материала, показала большое сходство по межплоскостным расстояниям с рентгенограммами семсейита и плагионита. Следующая находка гетероморфита явилась вторым открытием этого минерала в месторождении Вольфсберг. Гетероморфит был определен в одном из образцов плагионита месторождения Вольфсберг, хранящемся в Национальном Минералогическом Музее Канады (Jambor, 1969). Для этого образца гетероморфита была снята рентгенограмма, определены параметры решетки и рентгеновская плотность; параметры элементарной решетки и плотность хорошо совпали с предсказанными для гетероморфита величинами a_0, b_0, c_0 и d (Jambor, 1969). Через два года была описана аналогичная находка гетероморфита в рудах того же месторождения (Вольфсберг), сделанная в Минералогическом музее АН СССР, в Москве (Мозгова и др., 1971). Так же как и в музее Канады, гетероморфит был определен в образце, заэтикированном плагионитом; бы-

Сводная таблица свойств гетероморфита

Химический состав и формула	7PbS · 4Sb ₂ S ₃	Теор. состав в вес. % Pb 47,81 Sb 32,11 S 20,08
Примеси	?	
Кристаллография	Монокл. с.; C 2/c a ₀ = 13,60 b ₀ = 11,93 β = 90°50' c ₀ = 21,22 Z = 4	Lambog, 1969
Блеск, цвет, черта,	Непрозрачен, блеск металлический, цвет железо-черный до стально-серого, черта черная	
Морфология	Плотные массы и мелкие таблитчатые кристаллы конвертообразной формы	
Спайность	По (112) - отчетливая (Рамдор, 1962)	
Двойники	Не наблюдались	
Твердость	2,5 - 3,0 (по Моосу)	
Удельный вес	5,73; вычисленный - 5,86	

ли обнаружены значительные количества гетероморфита и для него оказалось возможным сделать гониометрические измерения, определения удельного веса, полный химический анализ, рентгенометрические исследования.

Таким образом, в последние годы для гетероморфита получены новые данные, уточняющие основные характеристики его и место этого минерала в группе сульфoантимонитов свинца.

До 1967 г. в литературе была известна одна рентгенограмма гетероморфита, которая была получена Гиллером (Hiller, 1939) на химически не проанализированном материале из Вольфсберга. Она не рассматривалась как достоверная, но за неимением других данных с этой оговоркой приведена в справочной литературе (Михеев, 1957; Минералы, т. I, 1960; Рамдор, 1962). Три новые дебаграммы, полученные для материала из Кара-Камара (Мозгова и др., 1967) и двух образцов из Вольфсберга (Jambor, 1969; Мозгова и др., 1971), хорошо совпадают между собой, но заметно отличаются от данных Гиллера. Сопоставление трех последних рентгенограмм гетероморфита с межплоскостными расстояниями плагинита и семсейита показывает большое сходство рентгенометрических данных всех трех минералов. Это обстоятельство затрудняет индивидуализацию минералов плагинитовой группы по дебаграммам (см. Приложение, табл. XIII).

Микроскопия

Свойства гетероморфита в отраженном свете до последнего времени с достоверностью известны не были, так как первые находки этого минерала под микроскопом не изучались; поэтому минераграфическая характеристика гетероморфита в справочниках отсутствует. Нами оптические свойства гетероморфита исследовались на образце минерала из месторождения Кара-Камар (материал В.С. Волгина). В отраженном свете гетероморфит, как и другие сульфантимониты свинца, характеризуются умеренно высокой интенсивностью отражения. Цвет минерала нейтральный (белый) без заметных цветных оттенков. Двуотражение сильное, как у плагинита; в скрещенных николях сильно анизотропен с цветными эффектами в серых и лиловых тонах. Внутренние рефлексы густые красные, заметны в иммерсии.

Результаты измерений коэффициентов отражения гетероморфита, выполненных разными авторами, приведены в табл. 18 и на рис. 23 и 24.

Строкай сообщает значения R гетероморфита для изотропного сечения, рассчитанные им по результатам исследования коэффициентов отражения структурно близких к гетероморфиту семсейита и плагинита. Нами при измерениях коэффициентов отражения гетероморфита, так же как и других сульфантимонитов свинца, выявлялись наиболее сильно двуотражающие сечения; на графике (рис. 24) и в табл. 18 приведены спектры отражения двух главных коэффициентов отражения R_g и R_p . Приведенные значения R характеризуют гетероморфит как сильно двуотражающий минерал с $\Delta R_{отн} \approx 20\%$, что хорошо согласуется и с визуальной оценкой силы эффекта двуотражения. В работе Н.Н. Мозговой и др. (1968) отсутствуют сведения о коэффициентах отражения и силе двуотражения главных сечений и наблюдаются отклонения в характере кривых вследствие использования не общепринятых значений эталона (пирита).

Кристаллографические особенности. В шлифах для гетероморфита характерны таблитчатые кристаллы с клиновидными окончаниями-

Значения коэффициентов отражения гетероморфита в интервале спектра
 $\lambda = 420-700$ нм

$R, \%$ $\Delta R_{\text{отн.}}$ доли ед.	420	460	500	540	580	620	660	700	Авторы; при- бор; эталон
R_g	45,6	45,2	44,7	43,8	42,6	41,0	39,3	37,5	Чвилева; "Блеск", кремний
R_p	34,2	34,2	34,2	34,0	33,6	32,7	31,4	30,0	
$\Delta R_{\text{отн.}}$	0,25	0,24	0,24	0,22	0,21	0,20	0,20	0,20	
R_g		39,3		41,0	40,0		38,0		Мозгова и др., 1968; пирит. Зна- чения R да- ны для $\lambda = 450, 550,$ 579 и 640 нм
R_p		35,7		37,0	36,5		34,4		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,09		0,10	0,09		0,09		

R_m		38,9	35,2		32,1				Sztrokay, Baliy, 1953; фото- метр-окуляр. Значения R даны для $\lambda = 527, 589,$ 656 нм
R_m (имм.)									

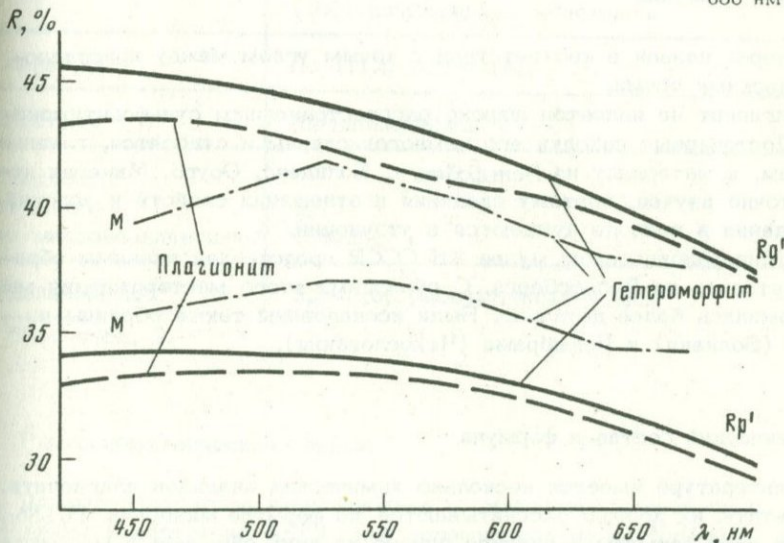


Рис. 24. Спектры отражения гетероморфита (Кара-Камар, Средняя Азия) и плагионита (Вольфсберг, Приложение, табл. I, анализ 24); получены на приборе "Блеск". Литературные сведения для гетероморфита - М - Мозгова и др., 1968

ми, сноповидные и радиально-лучистые агрегаты. Спайность в полированных шлифах наблюдалась только в образцах, затронутых процессами окисления. Твердость по микровдавливанию гетероморфита Кара-Камара находится в пределах 137-187 кгс/мм² при нагрузке 20 г (Мозгова и др., 1967).

Условия нахождения

Месторождения Вольфсберг, Арнсберг и Кара-Камар, в рудах которых установлен гетероморфит, являются сурьмяными с главным рудным минералом антимонитом. Гетероморфит в рудах этих месторождений пространственно разобщен от антимонита и наблюдался в виде номинеральных обособлений (Кара-Камар) или в ассоциации с плагионитом (Вольфсберг).

Сходство и отличия

Макроскопически и в шлифах практически не отличим от плагионита; по рентгенограмме близок к семсейиту и к плагиониту. Уверенная диагностика гетероморфита может быть осуществлена только на основании исследований химического состава.

Плагионит

Общие сведения

Минерал назван в соответствии с косым углом между кристаллографическими осями.

Плагионит не является широко распространенным сульфоантимонитом. Достоверные находки его немногочисленны и относятся, главным образом, к материалу из Вольфсберга, Болидена, Оруро. Минерал недостаточно изучен, поэтому сведения в отношении свойств и условий нахождения в природе нуждаются в уточнении.

В Минералогическом музее АН СССР представлен главным образом материал из Вольфсберга. С образцами этого месторождения мы ознакомились более детально. Были исследованы также образцы из Оруро (Боливия) и Пршибрама (Чехословакия).

Химический состав и формула

В литературе имеется несколько химических анализов плагионита. Результаты их хорошо рассчитываются по формуле минерала $Pb_5Sb_8S_{17}$. Против этой формулы в анализе одного из двух образцов с месторождения Оруро присутствует избыточный свинец. Результаты, полученные нами для материала из Вольфсберга, хорошо согласуются с приведенной выше формулой (см. Приложение, табл. X).

Спектральным анализом во всех изученных автором образцах плагионита установлены медь и серебро в количествах 0, 0n %; редкие элементы не обнаружены.

Таблица 19

Сводная таблица свойств плагионита

Химический состав и формула*	5PbS · 4Sb ₂ S ₃	Теор. состав в вес. % Pb 40,55 Sb 38,12 S 21,33
Примеси*	Cu, Ag	
Кристаллография	Монокл. с.; C 2/c a ₀ = 13,47 b ₀ = 11,82 β = 107°20' c ₀ = 19,99 Z = 4 (Jambor, 1969)	
Блеск, цвет, черта	Непрозрачен, с металлическим блеском, цвет свинцово-серый, черта темная красновато-коричневая	
Морфология*	Зернистые агрегаты, часто таблитчатые по (001) ромбовидные кристаллы	
Спайность	По (112) отчетливая	
Двойники	Не наблюдались	
Твердость по Моосу по микровдавливанию*	2,5 159-204	
Удельный вес*	5,5-5,6; рассчитанный - 5,57	

*См. табл. 2.

Рентгенометрические данные

Данные порошкограмм плагионита в литературе разноречивы. Приведенные в картотеке ASTM две порошкограммы по Nuffield (для материала из Вольфсберга и Юкон) близки между собой. Дебаграммы плагионитов по Harcourt (образец Вольфсберга) и Сагателян (материал по Азатеку), также очень близкие между собой, сходны с

дебаграммой гетероморфита (?) Хиллера и резко отличаются от дебаграмм плагионитов по Nuffield. Дебаграмма плагионита из Вольфсберга по Хиллеру отличается от всех других дебаграмм присутствием сильной линии с $d/n = 3,307$. Противоречивость сведений, сообщаемых разными авторами, затрудняет использование результатов рентгенометрических исследований для диагностики плагионита.

Дебаграммы, полученные нами для образцов из Вольфсберга, Пршибрама и Оуро, идентичны и хорошо совпадают с результатами, приведенными в XRDS (1944) для материала из Вольфсберга.

Микроскопия

Под микроскопом плагионит изучен слабо, и, видимо, именно поэтому Рамдор пишет, что признаки этого минерала в отраженном свете мало характерны. В действительности плагиониту присущи индивидуальные особенности, довольно легко отличающие его от более сходных между собой игольчатых сульфоантимонитов.

Визуально плагионит характеризуется умеренно высокой интенсивностью отражения, заметно изменяющейся (благодаря сильному двуотражению) в разных сечениях. Цвет минерала в общем нейтральный; в самых темных положениях проявляется слабый коричневатый тон, подобный цветовому оттенку тетраэдрита. В отличие от других сульфоантимонитов свинца, плагионит — наиболее сильно двуотражающий минерал, причем изменение интенсивности отражения сопровождается нежным цветным эффектом, в цветовой гамме которого, кроме нейтрально-оливково-зеленоватых тонов, присутствует коричнево-розовая составляющая, не характерная для других сульфоантимонитов; цветной эффект двуотражения более отчетлив в иммерсии. В скрещенных николях плагионит сильно анизотропен с яркими цветными эффектами в нежно-розовых, коричневых и серовато-синих тонах. Внутренние рефлексы минерала — густые красные, отчетливо заметны в иммерсии.

Результаты измерения R плагионита, полученные разными исследователями, приведены в табл. 20 и на рис. 25.

Спектры отражения плагионита, полученные нами на приборе "Блеск", в общем близки к результатам, сообщаемым Л.Н.Вяльсовым (1969). Небольшие различия, обнаруживаемые на графиках, касаются формы кривых. На кривой дисперсии R_g , записанной на "Блеске", в области $\lambda = 530-600$ нм намечается небольшой прогиб, отсутствующий на кривой, полученной на "ПИОР"е; кривые наименьшего коэффициента отражения заметно отличаются в синей области, где значения R_p по "ПИОР"у ниже результатов по "Блеску" на ~3%. Отсюда и некоторые несоответствия в оценке силы двуотражения минерала. На большей части видимого спектра $\Delta R_{отн.}$ плагионита, согласно данным автора и Л.Н.Вяльсова, составляет 20-22%, что хорошо согласуется с визуальным восприятием эффекта двуотражения как сильного; в синей области, согласно результатам, сообщаемым Л.Н.Вяльсовым, $\Delta R_{отн.}$ повышается до 30%.

Таблица 20

Результаты измерения коэффициентов отражения плагионита
в интервале спектра $\lambda = 420-700$ нм

R , % $\Delta R_{\text{отн.}}$, доли ед.	420	460	500	540	580	620	660	700	Автор; прибор, эталон
R_g	43,3	43,5	43,0	41,9	40,9	40,3	39,0	37,2	Чвилева; "Блеск", кремний
R_p	32,9	33,4	33,3	33,4	33,0	32,0	30,6	29,4	
$\Delta R_{\text{отн.}}$	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	0,20	0,21	0,21	
R_g	44,8		43,0	42,0			39,0		Вяльсов, 1969; Пиор, кремний. Значения R даны для $\lambda = 650$ нм
R_p	31,0		33,0	32,7			30,2		
$\Delta R_{\text{отн.}}$	0,30		0,23	0,22			0,22		
R_g	37,6		38,0	37,5			34,5		Мозгова и др., 1968; пирит. Значения R даны для $\lambda = 472, 550,$ $579, 640$ нм
R_p	33,8		34,5	33,6			31,8		
$\Delta R_{\text{отн.}}$	0,10		0,09	0,10			0,08		
R				37,2	34,4		31,1		Sztrokay, Bally, 1953; фотометр-окуляр значения R даны для $\lambda =$ $= 527, 589,$ 656 нм
$R_{\text{имм.}}$				16,7	18,0		16,3		
R	Белый свет			37,1					Folinsbee, 1949; фотозлемент

В работе Н.Н.Мозговой и др. (1968) содержатся ошибочные сведения о максимальном коэффициенте отражения плагионита (значения R_g по всему спектру занижены на 5-6%), и дается неправильная оценка $\Delta R_{\text{отн.}}$ (8-10%). Такая низкая величина $\Delta R_{\text{отн.}}$ может быть у минерала с анизотропией, более слабой, чем у джемсонита ($\Delta R_{\text{отн.}} = 11-13\%$) и цинкениита ($\Delta R_{\text{отн.}} = 11-12\%$).

Механические свойства. Твердость по Талмейджу-С. По относительному рельефу принадлежит ко I группе. Микротвердость, полученная на приборе ПМТ-3 при нагрузке в 20 г, находится в пределах 159-204 кгс/мм².

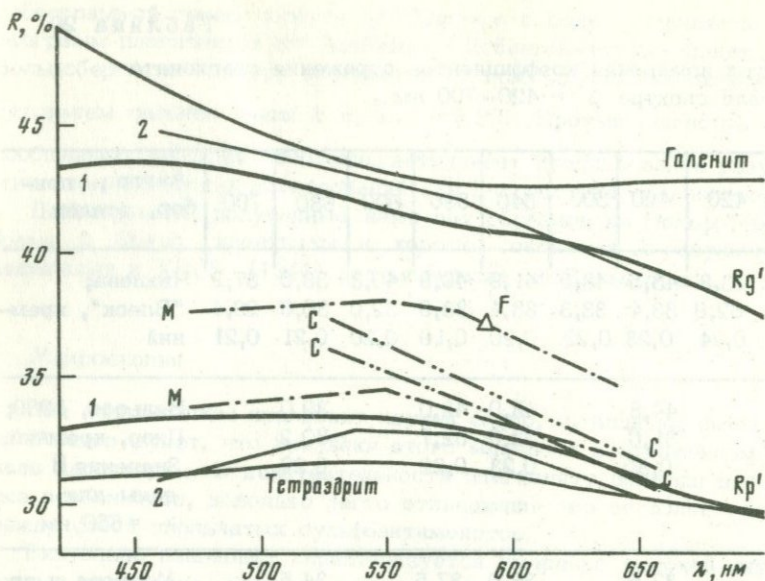


Рис. 25. Спектры отражения плагионита: 1 - "Блеск" (Вольфсберг, Приложение, табл. I, анализ 24), 2 - "ПИОР" (Вяльсов, 1969); литературные данные: М - Мозгова и др. (1968), С - (Sztrokay (1953), F - Folinsbee (1949)

Кристаллографические особенности. Форма кристаллов толсто-таблитчатая (рис. 26), призматическая до игольчатой (?). Спайность отмечалась только в крупнозернистых агрегатах (Рамдор, 1962). В изученных нами образцах в полированных шлифах спайность не наблюдалась, в прозрачно-полированных шлифах она вполне отчетлива.



Рис. 26. Таблитчатые кристаллы плагионита. Макроснимок, увел. 5; Вольфсберг, ФРГ (обр. 58115, Минералогический музей АН СССР)

Плагионит относят к минералам редким; возможно, он более распространен, чем это принято считать. В небольших количествах встречается в некоторых свинцово-цинковых месторождениях, среди позднейших, располагающихся главным образом в друзовых пустотах; продуктов первичного оруденения (Рамдор, 1962), в близповерхностных оловянных месторождениях. Однако наиболее характерными проявлениями плагионита являются, очевидно, сурьмяные, существенно антимонитовые месторождения типа Вольфсберга.

Наиболее богатый материал относится к месторождениям Вольфсберг (ФРГ) и Оруро (Боливия).

В Советском Союзе плагионит определен в нескольких месторождениях: в свинцово-сурьмяных: Азатеке (Сагателян, 1957, 1961; Мозгова, Бородаев, 1972) и Дарасуне (Филимонова, 1968; Мозгова, Бородаев, 1972) и в сурьмяном месторождении Гурдара (Мозгова, Бородаев, 1972).

Сходство и отличия

Свойства плагионита достаточно индивидуальны, что позволяет вполне уверенно отличать его от других минералов группы и в первую очередь от игольчатых сульфоантимонитов свинца. Для плагионита характерны: таблитчатая форма индивидов и агрегатов, под микроскопом в некоторых сечениях слабо коричневатые тона в цвете, самое сильное (из всех минералов группы) двуотражение (рис. 22, 25), сильная анизотропия с ярким цветным эффектом, наиболее высокая (как и у цинкита) твердость по микровдавливанию. Весьма характерным является также нахождение преимущественно в сурьмяных рудах.

Изученный материал¹

- Плагионит. Таблитчатые кристаллы на щетке кварца; в кварце - прожилки антимонита. Вольфсберг, ФРГ. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 58115.
- Плагионит. Таблитчатые кристаллы на щетке кварца. Вольфсберг. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 8080, 19853.
- Плагионит. Таблитчатые кристаллы плагионита в жеодах кварца. В кварце - сплошные выделения антимонита. Вольфсберг. Горный музей, Ленинград; обр. 124/1.
- Плагионит. Таблитчатые кристаллы плагионита в ассоциации с пиритом в пустотах окварцованной породы. Поопо, Боливия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47751.
- Плагионит. Толстостолбчатые кристаллы плагионита на друзе водяно-прозрачных кристаллов кварца. Пршибрам, Чехословакия. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47749.

¹ См. примечание к изученному материалу по геокрониту.

Фюлёппит

Общие сведения

Назван по имени венгерского коллекционера Б.Фюлёпа, впервые нашедшего минерал (Fialy, Koch, 1929).

Таблица 21

Сводная таблица свойств фюлёппита

Химический состав и формула	$3\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$	Теор. состав в вес. % Pb 29,93 Sb 46,91 S 23,16
Примеси	?	
Кристаллография	Монокл. с. С 2/с $a_0 = 13,41$ $b_0 = 11,71$ $c_0 = 16,90$	$\beta = 94^\circ 43'$ Jambor, 1969)
Блеск, цвет, черта	Непрозрачный, блеск металлический; цвет свинцово-серый, иногда с бронзовой или стально-синей побегалостью; черта красновато-серая	
Морфология	Мелкие короткопризматические, реже - таблитчатые кристаллы	
Спайность	Не обнаружена	
Двойники	Не наблюдались	
Твердость	2,5 (по Моосу)	
Удельный вес	5,22 (вычисленный 5,21)	

Химический состав

Минерал известен лишь в одном месторождении - Нагибанья (Румыния). Для материала из этого месторождения в литературе имеется единственный анализ.

Пересчет химического анализа фюлэппита

Состав в %	Состав, приведенный к 100%	Атомные количества	Отношения атомных количеств	
			по анализу	по формуле
Pb 28,29	28,32	136,673	3	3
Sb 47,50	47,55	390,522	8,57	8
S 24,10	24,13	752,10	16,517	15
SiO ₂ 0,19				
Сумма 100,08	100,00			

Сделанный пересчет показывает, что химический анализ фюлэппита из Нагибаньи не рассчитывается на предлагаемую для него формулу и, так как приведенный анализ является единственным для этого минерала, формулу его нельзя считать достаточно точной.

Рентгенометрические данные

Межплоскостные расстояния, полученные для фюлэппита Нагибаньи, очень близки с соответствующими данными в дебаеграмме плагионита, поэтому рентгенометрические данные для идентификации фюлэппита ненадежны.

Микроскопия

В отношении поведения минерала под микроскопом сведения весьма ограничены. Дисперсия отражательной способности сообщается в работе Sztrokay, Baliy (1953) — табл. 23, рис. 23.

Таблица 23

Значения коэффициентов отражения фюлэппита в интервале спектра $\lambda = 527-656$ нм

R, %	527	589	656	Автор; способ измерения
R	35,6	33,2	30,1	Sztrokay, Baliy, 1953; фотометр-окуляр

Цвет минерала в отраженном свете чисто белый, без цветных оттенков (Рамдор, 1962). В скрещенных николях минерал умеренно анизотропен с цветными эффектами в диагональном положении: голубовато-зеленый до красновато-бурого. Внутренние рефлексы не наблюдались.

Приведенные оптические характеристики минерала нуждаются в уточнении. Так как фюлэппит по химическому составу и кристаллической структуре очень близок с плагионитом, и оптические свойства этих минералов должны были бы быть более сходны, чем это указывается в литературе. Полируется хорошо; по относительному рельефу несколько ниже галенита.

Условия нахождения

Находки фюлэппита известны были в одном месторождении - Нагибанья (Румыния), где минерал описан в ассоциации со сфалеритом, цинкенимом и доломитом. В последние годы фюлэппит определен также в Бая-Маре (Румыния) - Borcea, Antonovici, 1970.

Игольчатые сульфоантимониты свинца с отношением $PbS : Sb_2S_3 = 1.17 : 1-1:1$

Робинсонит

Общие сведения

Минерал назван по имени шведского минералога С.Робинсона, получившего его при синтезе (сухим сплавлением элемента в вакууме и водным синтезом в бомбах при отношении $7PbS : 6Sb_2S_3$ и впервые описавшего под названием "Минерал X" (Berry, 1952). Позднее, в месторождении Ред Берд (Невада, США) был найден минерал, идентифицированный с робинсонитом.

И природный минерал, и искусственный продукт изучены крайне слабо. Сообщаемые ниже сведения основаны главным образом на данных С.Робинсона по синтетическому материалу.

Химический состав и формула

Химически анализировалась смесь робинсонита и буланжерита, в которой было всего 40,1% робинсонита; поэтому приведенная выше формула минерала предположительна.

Сводная таблица свойств робинсонита

Химический состав и формула	7 PbS · 6 Sb ₂ S ₃	Теор. состав в вес. % Pb 39,06 Sb 39,35 (Berry, S 21,59 1952)
Кристаллография	Трикл. с. a ₀ = 16,51 b ₀ = 17,62 c ₀ = 3,97	α = 96°04' β = 96°22' γ = 91°12' Z = 1
Блеск, цвет	Непрозрачен, блеск металлический, цвет свинцово-серый	
Морфология	Тонкие призматические кристаллы; волокнистые и плотные агрегаты	
Спайность	Не наблюдалась	
Двойники	Нет	
Твердость	2,5 - 3,0 (по Моосу)	
Удельный вес	5,20; для искусственного продукта - 5,27, вычисленный - 5,40	

Микроскопия

Изучен недостаточно. Данные, приводимые С.Робинсоном, относятся главным образом к искусственному материалу. Так как С.Робинсон указывает на трудности отличия от сопровождающего буланжерита, минерал с ним должен быть, по-видимому, сходен. В скрешенных николях сильно анизотропен, цветные эффекты синевато-серые, кремово-белые, коричневато-серые.

Механические свойства. Спайность не наблюдалась; хрупок, полируется хорошо.

Сходство и отличия. Указывается большое сходство минерала с буланжеритом. В отличие от него, робинсонит в полированных шлифах травится 40%-ным раствором КОН. От джемсонита отличается отрицательной реакцией на железо.

Минерал получен S. Robinson (1948) при синтезе в системе Pb-Sb-S. В природе наблюдался лишь в одном месторождении - в ртутном руднике Ред Бёрд (Невада, США), где описан в ассоциации с пиритом, сфалеритом, буланжеритом, антимонитом и другими минералами.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что о робинсоните известно слишком мало данных, характеризующих его свойства. Нуждаются в уточнении также условия нахождения минерала в природе и соотношения с другими сульфоантимонитами свинца (и прежде всего с ассоциирующими с ним буланжеритом и антимонитом).

Цинкениит

Общие сведения

Первые упоминания о цинкениите относятся к 1825 г. и принадлежит Цинкену, открывшему и описавшему минерал в месторождении Вольфсберг (Гарц, ФРГ). Цинкениит известен также в месторождениях Румынии, Боливии, Британской Колумбии, Чехословакии (Koch, 1957; Sobotka, 1957; 1958; Nak, 1958) и др. В отечественных месторождениях находки цинкениита сделаны главным образом в последние годы, однако первое упоминание об этом минерале относится, по-видимому, к 1895 г. (Вейц, Покровская, 1957), когда И.А. Антиповым было сделано сообщение о химическом составе минерала из Заводинского месторождения. И.А. Антипов проанализировал минерал, химический состав которого почти точно укладывается в формулу $PbSb_2S_4$; к сожалению, описания самого минерала и условий его нахождения автором дано не было. Достоверные находки цинкениита известны в Терекском месторождении (Горжевский, 1955; Чвилёва, 1965), в Зиддинском мышьяковом месторождении (Сазонов, 1960), в месторождениях Дарасун (Чжан-Тау, 1960), Киртишо (Твалчрелидзе, 1959), Гурдара (Чвилёва, 1966; Мозгова, 1966); указан (не описан) цинкениит в Азатеке (Григорян, 1960).

С момента открытия цинкениита в месторождении Вольфсберг прошло уже почти 150 лет, между тем изучен минерал недостаточно полно: достоверно неизвестна атомная структура, дискуссионной является химическая формула, разноречивы сведения по определению удельного веса, недостаточно изучен минерал под микроскопом в отраженном свете.

Исследование цинкениита, проведенное нами на материале месторождений Терекского, Вольфсберга, Гурдара и ряда других (Дарасуна, Зиддинского, Оуро) позволило уточнить химический состав минерала, некоторые физические свойства, а также условия нахождения в природе и парагенетические взаимоотношения цинкениита с другими минералами.

Сводная таблица свойств цинкениита

Химический состав и формула *	$\text{PbSb}_2\text{S}_4^*$	Теор. состав в вес. % Pb 35,79 Sb 42,06 S 22,15
Примеси *	Fe, Cu, Ag, As небольших количествах, по-видимому, изоморфны с основными эле- ментами	
Кристаллография *	Гексаг. с. $a_0 = 44,06$ $Z = 80$ или 81 $b_0 = 8,60$ (Nuffield, 1945)	
Блеск, цвет, черта	Непрозрачен, с металлическим блеском; цвет стально-серый с побежалостью; черта черная, при растирании коричневатая	
Морфология *	Игольчатые кристаллы, столбчатые и радиально- лучистые агрегаты; призматические кристаллы, удлиненные по оси с, с вертикальной штрихов- кой на гранях призмы	
Слайность *	По (11 $\bar{2}$ 0) неясная	
Двойники	С достоверностью не известны	
Твердость: 1) по Моосу 2) по микро- вдавливанию	1) 3 - 3,5 2) 163 - 201*	
Удельный вес *	5,30* ; 5,28 - вычисленный для состава PbSb_2S_4 при $Z = 80$ 5,35 - вычисленный для состава PbSb_2S_4 , при $Z = 81$; 5,22 - вычисленный для состава $\text{PbSb}_{14}\text{S}_{27}$, при $Z = 12$	

* См. табл. 2.

Химическая формула цинкениита твердо не установлена. На основании имеющихся анализов одними авторами предлагается формула $PbSb_2S_4$, другими — $6PbS\ 7Sb_2S_3$ (Минералы, 1960).

В процессе настоящего исследования были выполнены 5 полных химических анализов минерала (два — для образцов Терекского месторождения, два — для цинкениита из месторождения Вольфсберг и один — для материала из месторождения Гурдара). Руды Терекского месторождения изучались в связи с работами, проводившимися автором на некоторых рудопроявлениях в Южно-ферганском поясе; материал из месторождения Вольфсберг был привлечен потому, что для цинкениита именно этого месторождения в литературе приведены два анализа, один из которых дает формулу $PbSb_2S_4$ и другой — $6PbS\ 7Sb_2S_3$. Результаты пересчетов вновь выполненных анализов, а также анализов, имеющихся в литературе, помещены в табл. XI и XII Приложения.

Как можно видеть из таблиц, на формулу $PbSb_2S_4$ почти точно рассчитываются 11 анализов из приведенных 15, другую формулу дает только один анализ (№ 1, месторождение Вольфсберг); два анализа (5 и 6, материала Байя-Маре) близки к формуле $6PbS\ 7Sb_2S_3$, однако отклонения от нее значительные, и один анализ далек как от той, так и от другой формул. Анализы 5 и 6, заимствованные нами из работы Koch (1957), выполнялись не на чистом материале — в пробах, которые анализировались, кроме цинкениита присутствовал сфалерит, составлявший почти 50% проб; подобный материал нельзя считать пригодным для расчета формулы минерала. Таким образом, из 13 анализов, которые могут быть использованы для расчета формулы, только два отклоняются от состава $PbSb_2S_4$: один относится к материалу из месторождения Вольфсберг, другой — к материалу из Байя-Маре. В обоих анализах против формулы $PbSb_2S_4$ содержится избыток сурьмы и серы, причем в анализе цинкениита месторождения Вольфсберг этот избыток более значителен и соотношения элементов дают состав $6PbS\ 7Sb_2S_3$. Однако вряд ли есть основание по результатам одного лишь анализа предполагать для минерала иную формулу, чем та, которая выводится из всех анализированных образцов. Избыточное количество Sb_2S_3 в анализе может быть обязано механической примеси антимонита, присутствие которого вполне вероятно, так как цинкениит нередко наблюдается в тесной ассоциации с антимонитом.

Таким образом, простейшая формула цинкениита $PbSb_2S_4$ подтверждается фактическим материалом по химическому составу минерала, имеющимся в литературе. Пять новых анализов, выполненных в процессе настоящего исследования, в том числе и анализы для двух образцов месторождения Вольфсберг (из коллекции Минералогического музея АН СССР), также рассчитываются на формулу $PbSb_2S_4$ (см. табл. XI и XII Приложения). Хорошее соответствие формуле $PbSb_2S_4$ показывают также результаты химических анализов, сообщенных в последнее время (Мозгова, 1966; Clark, 1967). Эта же формула подтверждается рентгеноструктурным изучением цинкениита Вольфсберга, проведенного Nuffield (1945), и предлагается Е.М. Романовой в

предварительном варианте атомной структуры минерала (Бокий, Романова, 1961). Удельный вес, вычисленный для этой формулы (5,28 при $Z = 80$), хорошо согласуется со значением удельного веса, получаемым путем непосредственного определения на образцах (5,29 - 5,30).

Таким образом, в настоящее время для цинкениита можно считать твердо доказанной формулу $PbSb_2S_4$. Однако рентгеноспектральные исследования состава минерала, проведенные Harris (1965) для двух образцов с месторождения Вольфсберг, показали атомные отношения $Pb : Sb$ в анализированных пробах равными 6:14, что соответствует формуле $6PbS 7Sb_2S_3$;

Рентгенометрические данные

Межплоскостные расстояния, полученные для цинкениита разными исследователями, очень близки между собой и отличаются от межплоскостных расстояний в дебаеграммах других сульфоантимонитов свинца.

Главные линии: 3,45(10) 3,02(9) 2,81(4) 1,985(3) 1,828(3) Berry, Thompson, 1962.

Микроскопия

Оптические свойства. Как и другие сульфоантимониты свинца в отраженном свете, цинкениит умеренно отражает (близок к гелениту), сравнительно с геленитом - голубовато-зеленоватый; двуотражение хорошо наблюдается без иммерсии, особенно отчетливо в агрегате зерен; в скрещенных николях умеренно анизотропен без заметных цветных эффектов, как в воздухе, так и в иммерсии.

Внутренние рефлексы минерала более отчетливые, чем об этом сообщается в литературе (Рамдор, 1962; Uytendogaardt, 1971). Они имеют кроваво-красный цвет и хорошо заметны повсеместно в порошке без иммерсии и в местах сколов с иммерсией.

Результаты количественных измерений R цинкениита приведены в табл. 26 и на рис. 27.

Согласно измерениям R на приборе "Блеск", $\Delta R_{отн.}$ цинкениита выражается в 12%, что хорошо соответствует визуальной оценке силы двуотражения, как умеренной. Сведения, сообщаемые для цинкениита Lopez-Soler (1969), полностью совпадают с нашими результатами, как в отношении абсолютных значений R_g и R_p минерала по спектру, так и в отношении силы двуотражения. Л.Н.Вяльсовым (1969) занижена сила двуотражения минерала (только 7%) и, очевидно, ошибочно показана небольшая депрессия в области $\lambda \sim 500$ нм на кривых обоих главных коэффициентов отражения. Результаты Н.Н.Мозговой и др. (1968) заметно отличаются от наших данных и по общему уровню и по форме кризисов. Величины R Рамдора (1962), Бови и Тейлора (1959) для белого света неоправданно низки, так как характеризуют цинкениит как минерал, практически не отличимый в обычном белом свете от тетраэдрита.

Результаты измерения коэффициентов отражения шпинелита
в интервале спектра $\lambda = 420-700$ нм

Таблица 26

$R, \%$ $\Delta R_{\text{отн.}}$, доли ед.	420	460	500	540	580	620	660	700	Автор; прибор, эталон
R_g	45,5	45,4	44,8	43,3	41,9	40,6	39,5	38,3	Чвилёва, "Блеск", кремний
R_p	39,8	39,8	39,2	38,1	37,0	36,0	35,1	34,0	
$\Delta n_{\text{отн.}}$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	
R_g		44,1	42,3	42,0	41,0	39,9	38,7	37,1	Вяльсов, 1969; "ПИОР", кремний
R_p		40,5	39,6	39,4	38,1	37,0	36,0	34,5	
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	
R_g		38,9		40,1	38,2		36,6		Мозгова и др. 1968; значения R даны для $\lambda = 472, 550, 579, 640$ нм
R_p		36,0		36,5	35,2		33,8		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,07		0,09	0,08		0,08		
R_p		44,6		42,7	41,4		39,4		Lopez-Soler, 1969; значения R даны для $\lambda = 470, 546, 589$ и 650 нм
R_p		38,9		37,7	36,8		35,1		
$\Delta R_{\text{отн.}}$		0,13		0,12	0,11		0,11		
R_g		38,5	42,7		41,8	39,4		40,4	Gray, Millman, 1962; ртуть, значения R даны для $\lambda = 470, 520, 575, 600$ нм
R_p		37,5	41,0		38,7	36,5		36,6	
R				37,5	33,0		31,0		Рамдор, 1962; фотометр-окуляр, значения R даны для $\lambda = 527, 589, 656$ нм
$R_{\text{имм.}}$				31,0	23,0		23,0		

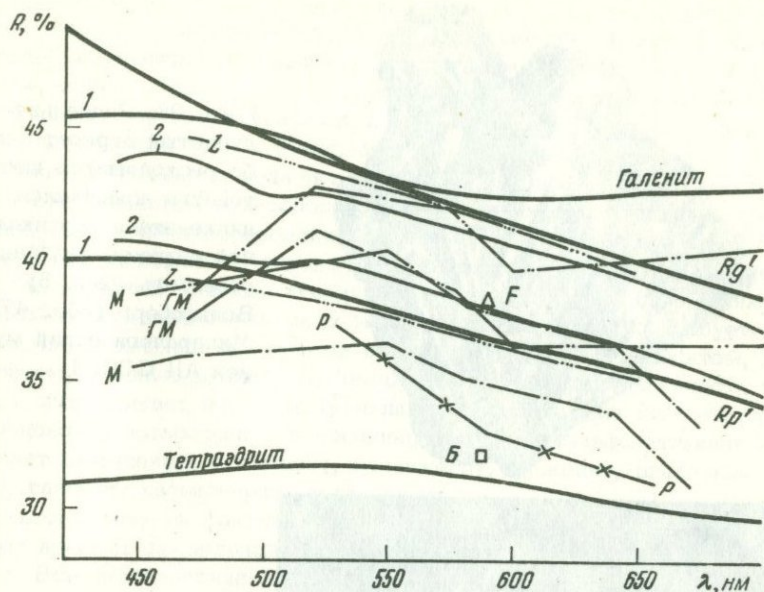


Рис. 27. Спектры отражения цинкенита: 1 - "Блеск" (Вольфсберг, приложение, табл. 1, анализ 29), 2 - "ПИОР" (Вяльсов, 1969); литературные данные; L - Lopez-Soler (1969), M - Мозгова и др. (1968), ГМ - Gray, Millman (1962), P - Рамдор (1962), F - Folinsbee (1949), Б - Бови и Тэйлор (1958)

В проходящем инфракрасном свете цинкенит хорошо просвечивает. Исследование сохраняющихся темнот, проведенное на столике Федорова, и коноскопической фигуры показывает, что цинкенит одноосный положительный минерал; погасание минерала прямое.

Прочие физические свойства. Полируется хорошо, без дефектов. Спайность в шлифах не наблюдалась. Она не обнаруживается и при микроскопическом изучении. Несовершенство спайности цинкенита является одной из характерных особенностей минерала, отличающих его от буланжерита и джемсонита. Минерал очень хрупкий; по прочерчиванию мягкий. Сведения об относительном рельефе в литературе отсутствуют. Согласно нашим наблюдениям относительный рельеф цинкенита резко ниже сфалерита и незначительно ниже галенита (сравнение с галенитом проводилось в искусственном образце). Твердость по микровдавливанию цинкенита Терекского месторождения и месторождения Вольфсберг находится в пределах 163-201 кгс/мм². Наблюдается анизотропия твердости с $K_H = 1,15$. Микротвердость, сообщаемая для цинкенита Бови и Тэйлором, равна 162 - 207 (среднее 178) кгс/мм², соответствует нашим измерениям.

Кристаллографические особенности. Цинкенит, как было отмечено выше, образует сплошные зернистые массы, а также радиально-лучистые агрегаты (рис. 28), состоящие из призматических,



Рис. 28. Радиально-лучистый агрегат слабо расходящихся шестоватых кристаллов цинкениита с вертикальной штриховкой. Макроснимок, увел. 6; Вольфсберг (обр. 47714, Минералогический музей АН СССР)

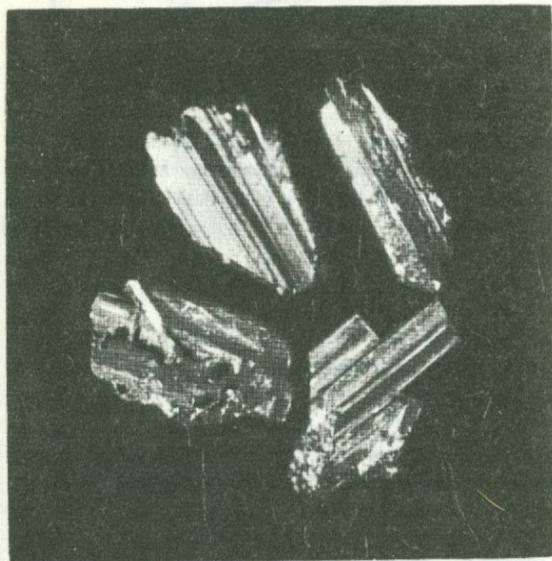


Рис. 29. Призматически-столбчатые зерна цинкениита с продольной штриховкой. Макроснимок, увел. 6; Вольфсберг (обр. 47712, Минералогический музей АН СССР)

шестоватых кристаллов с вертикальной штриховкой (рис. 29). Изучение под микроскопом показало, что эти кристаллы в действительности имеют тонко агрегатное строение.

Условия нахождения

Цинкениит до последнего времени относился к числу редких сульфо-антимонитов свинца, однако находки этого минерала, сделанные в последние годы, свидетельствуют о том, что он более распространен, чем принято было считать. Сравнительно редкое упоминание этого минерала в месторождениях обязано, по-видимому, не столько ограниченному

распространению его, сколько ошибкам в диагностике. Проведенная нами работа с образцами музейных коллекций показала, что цинкени́т в ряде месторождений принимался за буланжерит и джемсонит (обр. 59214, 59215 – месторождение Гурдара); в то же время буланжерит и джемсонит нередко определялись как цинкени́т (обр. 2598, 39557 – месторождение Морей – Майн, обр. 47719 – Корнуолл).

Ошибки подобного рода поддерживали мнение о малой распространенности цинкени́та и способствовали развитию неправильных представлений об условиях образования всех трех сульфoантимонитов. Так, в отношении цинкени́та в справочнике Минералы (1960) указывается, что он является "редким минералом сурьмяных и свинцово-цинковых низко- и среднетемпературных месторождений, где ассоциирует с антимонитом, сложными сульфидами свинца, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, арсенопиритом"; П.Рамдор (1962) распространенность цинкени́та ограничивает наиболее молодыми образованиями гидротермальных свинцово-цинковых жил и в ассоциации с этим сульфoантимонитом указывает джемсонит, антимонит, буланжерит, бурнонит, плагинит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит.

Автором изучен фактический материал многих известных к настоящему времени проявлений цинкени́та (см. раздел "Изученный материал"). Все эти проявления относятся к типу существенно сурьмяных месторождений (или руд), среди которых могут быть выделены месторождения (типа Гардары, Кутной Горы), где преобладающим рудным материалом является антимонит, и сложные сурьмяно-полиметаллические (Вольфсберг, Оруро, Дарасун, Терекское и др.). Для всех этих проявлений цинкени́та весьма характерной является близкая ассоциация его с антимонитом и разобщенность (в пространстве и времени) от образования галенита. В собственно полиметаллических, существенно свинцово-цинковых месторождениях, в которых антимонитовая стадия отсутствует, цинкени́т не встречается. Указания на нахождение цинкени́та в свинцово-цинковых месторождениях (Минералы, 1960; Рамдор, 1962) являются ошибочными и обязаны, по-видимому, неправильным определениям цинкени́та, за который в одних случаях принимался джемсонит (как это установлено нами для образцов 2598 и 33557, месторождение Морей – Майн), в других – буланжерит (обр. 47719, Корнуолл). Цинкени́т, наиболее бедный свинцом (и в то же время наиболее богатый сурьмой), сульфoантимонит свинца, одновременно с галенитом не образуется и потому в тесной ассоциации с ним не встречается. В свинцово-цинковых, преимущественно галенитовых, месторождениях типичными сульфoантимонитами являются геокронит, менегинит и буланжерит – наиболее богатые по содержанию свинца минералы этой группы.

Таким образом, цинкени́т можно рассматривать в качестве типоморфного сульфoантимонита свинца низкотемпературных, относительно простых по составу, существенно сурьмяных месторождений. В месторождениях со сложным минеральным составом, образование которых происходило в широком интервале температур и других физико-химических условий, цинкени́т выделяется в ассоциации обычно лишь со светлоокрашенным сфалеритом в одну из последних стадий, непосредственно за которой следует образование антимонита. Присутствующие в рудах этих

комплексных месторождений галенит, буланжерит, джемсонит, бурнонит, халькопирит и др., как правило, являются продуктами иных, более ранних стадий процесса рудоотложения, поэтому разобщены от выделений цинкениита и не могут рассматриваться в едином с ним парагенезисе.

Интересные наблюдения в отношении конкретных условий образования цинкениита сделаны на месторождении Дарасун (Иванова, 1962). Игольчатые кристаллы и сферолиты цинкениита были обнаружены А.А.Ивановой в гипсе вместе с призматическими кристаллами водянопрозрачного кварца, в головках которого содержались включения тонких иголок цинкениита. Термограмма дарасунского гипса и опыты по гомогенизации содержащихся в нем газово-жидких включений показали, что температура образования совместной кварц-цинкениит-гипсовой ассоциации не превышала $110-115^{\circ}\text{C}$ и была не ниже 60°C (Иванова, 1962).

Наиболее известными проявлениями цинкениита являются: месторождения Вольфсберг (ФРГ), самый богатый материал; Итос, Оруро (Боливия); Байя-Маре (Румыния); Гусарка в Низких Татрах (Чехословакия) и др.

В Советском Союзе цинкениит широко проявлен в Терекском месторождении (Северная Фергана), Зиддинском и Гурдаре (Гиссарский хребет), описан в месторождениях Киртишо (Северный Кавказ), Дарасун (Восточное Забайкалье), Азатек (Армения).

Сходство и отличия

В справочниках указывается, что цинкениит по многим физическим, а также оптическим свойствам сходен с другими сульфoантимонитами свинца и трудно отличим от них без данных полного химического анализа и рентгенометрических исследований. Такое мнение возникло, очевидно, вследствие недостаточной четкости характеристик свойств сульфoантимонитов в справочниках и ошибочных определений этих минералов. В действительности свойства цинкениита достаточно индивидуальны и минерал легко определяется по совокупности физических признаков.

В макровыделениях правильной диагностике цинкениита способствуют оценка спайности минерала, определение удельного веса и анализ парагенетических ассоциаций. В отличие от других игольчатых сульфoантимонитов свинца (буланжерита, джемсонита и менегинита) цинкениит не имеет совершенной спайности; минерал чрезвычайно хрупок и благодаря отсутствию спайности обнаруживает лишь неровный излом; удельный вес цинкениита 5,30 наименьший (если не считать фюлэппита) в группе сульфoантимонитов (см. табл. 27); в отличие от буланжерита, менегинита и джемсонита, встречающихся в свинцово-цинковых рудах, цинкениит — типоморфный сульфoантимонит сурьмяных, антимонитовых месторождений.

В микровыделениях в отраженном свете цинкениит от других сульфoантимонитов отличается наиболее слабым двуотражением, умеренной анизотропией, самыми высокими величинами микротвердости; в проходящем инфракрасном свете обнаруживает одноосность (все другие минералы группы — двуосны).

Таким образом, диагностика цинкениита не представляет особых затруднений — правильное определение минерала в большинстве случаев возможно осуществить без химических и рентгенометрических исследований.

Изученный материал¹

- Сульфосоль. Радиально-лучистые мелкозернистые агрегаты цинкениита в ассоциации с пиритом, сфалеритом, антимонитом в кварце. Терекское, Средняя Азия; обр. В.П.Федорчука.
- Цинкениит. Мономинеральная радиально-лучистая друза столбчатых, с вертикальной штриховкой кристаллов цинкениита. Вольфсберг, ФРГ. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47711.
- Цинкениит. Мономинеральный агрегат столбчатых хрупких кристаллов с вертикальной штриховкой. Вольфсберг. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47714.
- Цинкениит. Радиально-лучистый агрегат столбчатых кристаллов цинкениита в кварце, карбонате с вкрапленностью пирита. Вольфсберг. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 47718.
- Цинкениит. Тонкозернистый агрегат цинкениита в ассоциации со сфалеритом и пиритом в кварце. Вольфсберг. Горный музей, Ленинград; обр. 119/1.
- Цинкениит. Мелкозернистый сплошной цинкениит в тесной ассоциации с крупнокристаллическим антимонитом. Кутна Гора, Чехословакия; обр. Хака.
- Цинкениит. Крупные короткопризматические кристаллы бурнонита с выросшими на них мелкими кристалликами цинкениита. Оруро, Боливия, Горный музей, Ленинград; обр. 119/4.
- Цинкениит. Тонкозернистый агрегат цинкениита со сфалеритом и пиритом в кварце. Дарасун, Восточное Забайкалье. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 42570.
- Цинкениит. Тонкозернистый цинкениит в ассоциации с антимонитом в кварце. Зиддинское, Гиссарский хребет. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 64811.
- Джемсонит. Слабо расходящиеся радиально-лучистые агрегаты цинкениита в ассоциации со сфалеритом в кварце. Гурдара, Таджикская ССР. Минералогический музей АН СССР, Москва; обр. 59214, 59215.

Основные выводы по диагностике сульфоантимонитов свинца

Заканчивая обсуждение отдельных минералов, полезно еще раз обратить внимание на некоторые наиболее важные стороны диагностики сульфоантимонитов свинца.

Преимущественной формой нахождения в природе многих распространенных сульфоантимонитов являются крупные концентрации, доступ-

¹ См. примечание к изученному материалу по геокрониту.

Минерал; отношение $PbS : Sb_2S_3$	Теоретический состав*			Условия нахождения, парагенетические ассоциации
	Pb	Sb(As)	S	
Геокронит $5PbS \cdot (Sb, As)_2S_3$ 5:1	69,62	8,07** (5,05)	17,26	Распространенные; в полиметаллических рудах в тесной ассоциации с <u>галенитом</u> , <u>бурнонитом</u> , <u>халькопиритом</u> , <u>блеклой рудой</u> .
Менегинит $Cu_2S \cdot 26PbS \cdot 7Sb_2S_3$ 3,7:1	6,51	19,46	17,58	
Буланжерит $5PbS \cdot 2Sb_2S_3$ 2,5:1	55,23	25,97	18,80	
Джемсонит $FeS \cdot 4PbS \cdot 3Sb_2S_3$ 1,33:1	40,15	35,39	21,75	Распространенный; в полиметаллических месторождениях, в рудах без галенита
Плагионит $5PbS \cdot 4Sb_2S_3$ 1,25:1	40,55	38,12	21,33	Редкий; в сурьмяных и сурьяно-полиметаллических рудах с <u>антимонитом</u> .
Цинкениит $PbS \cdot Sb_2S_3$ 1:1	35,79	42,06	22,15	Распространенный; в сурьмяных и сурьяно-полиметаллических рудах в ассоциации с <u>антимонитом</u> .

* Реальные химические составы минералов постоянны и близко соответствуют теоретическим формулам; из элементов-примесей в минералах группы харак-

ные для определения простейшими приемами макродиагностики. Из внешних физических свойств для распознавания сульфоантимонитов первостепенное значение имеют различия в облике индивидов и агрегатов, в характере спайности, в величинах удельного веса. Все эти свойства удобно сопоставлять, систематизировав минералы группы в последовательности увеличения (или уменьшения) соотношения $PbS : Sb_2S_3$ (табл. 27).

свинца

Внешние физические свойства			Свойства в отраженном свете			Микротвердость
Характер агрегатов	Спайность	Уд. вес	R _g , R _p	ΔR отн.	Двойники	
Зернистые массы без преимущественного развития индивидов в каком-либо одном направлении	Несовершенная	6,42	40,0 38,0	Слабое 0,06	Полисинтетические	95-140
Призматические, столбчатые агрегаты короткопризматических зерен	Хорошая по (010) и несовершенная по (001)	6,37	42,7 35,5	Сильное 0,17	-	101-197
Таблитчато-призматические, спутанно-волокнистые с прерывистыми окончаниями	Совершенная по (100)	6,21	42,2 35,0	Сильное 0,17	Не наблюдались	100-182
Столбчато-призматические параллельно-шестоватые, радиально-лучистые со ступенчатыми ограничениями	Совершенная по (120) и (010) и хорошая по (001)	5,63	42,7 37,4	Умеренное 0,12	Полисинтетические по (100)	52-147
Таблитчатые по (001) кристаллы в пустотах	Отчетливая по (112)	5,58	40,8 32,7	Сильное 0,23	Не наблюдались	159-205
Радиально-лучистые агрегаты призматически-шестоватых зерен, сплошные зернистые массы	Несовершенная по (1020)	5,30	41,6 36,7	Умеренное 0,11	"	159-208

терны: таллий в геокроните (до 0,п %, редко выше); индий и кадмий в джемсоните (0,0п, редко 0,п %).

** При отношении Sb : As = 1 : 1.

По облику индивидов (в соответствии с особенностями внутренней структуры) в группе сульфoантимонитов различаются игольчатые минералы и таблитчатые; игольчато-призматический облик характерен для менегинита, буланжерита, джемсонита и цинкениита - минералов группы, имеющих цепной мотив структуры (А.С.Поваренных, 1966); сульфoантимониты с субкоординационным мотивом структуры имеют или таблитчатый облик (семсейит, гетероморфит, плагионит, фюлëппит), или близ-

Минерал, формула, отношение PbS : Sb ₂ S ₃	Химический состав в вес. % (на рентгеноспектральном микроанализаторе)			Кристаллографические данные, в Å	Месторождение, условия нахождения	Внешние физические свойства и некоторые особенности	Свойства в отраженном свете				Двуотражение при 589 нм	Твердость по микровдавливанию (нагрузка 50 г)	Литература
	Pb	Sb(As); Sb : As	S				Коэффициенты отражения (Rg - Rp) при λ, нм						
							470	546	589	650			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Стеррит Pb ₁₂ (Sb,As) ₁₀ S ₂₇ (?) 2,4:1	44,5 47	21(5,5); 23(6,0) 12:5	21,5 20,5	Ромб. с. Pba2 псевдоочейка Pbam: a ₀ = 28,4 b ₀ = 42,6 c ₀ = 2c' = 8,20 Z = 4(?)	Мэдок*. Волокнистые агрегаты, игольчатые кристаллы. Сечет веенит вдоль пластинчатых двойников	Удлинен по оси с, спайность по удлиению совершенная; пластинчатые двойники; черта черная; уд. вес 6,00 (вычисл. 5,91)	40,4- 37,6	38,7- 36,0	37,7- 35,1	36,3- 33,9	0,07	179	Jambor, 1967
Мэдokit Pb ₇ (Sb,As) ₆ S ₁₆ 2,3:1	55	22,8(3,1)	19,9	Ромб. с.; псевдоочейка: a ₀ = 27,2 b ₀ = 3,41 c ₀ = 8,12 Z = 5	Мэдок*. В шлифах	Спайность совершенная по (010)	44,5			37,9	Сильное, несколько слабее, чем у буланжерита	141- -171	То же. Синтезирован, t = 425°
Стибиодюфренуазит Pb ₂ (Sb,As) ₂ S ₅ 2:1	?	As ничтожно мало			Серро де Паско (Перу). В шлифах среди почковидных сульфидов						Слабое с цветными эффектами		Burkart-Baumann and ors 1966
Веенит Pb ₂ (Sb,As) ₂ S ₅	52,5	19,7(6,8)	21,2	Ромб. с. P 2 сп; псевдоочейка Pmcp: a ₀ = 8,44 b ₀ = 26,2 c ₀ = 7,90 Z = 8	Мэдок*. Агрегаты до 1,8 см. в поперечнике	Удлинен по оси а; спайности нет; полисинтетические двойники; Уд. вес 5,92 (вычисл. 5,96)	45,5- 39,5			39,9- 34,3	Rg - белый Rp - розовый	156- -172	Jambor, 1967
Дадсонит Pb ₁₁ Sb ₁₂ S ₂₉ 1,8:1	49,3 50,8	31,7 31,8	20,7 31,8	Монокл. с. P ₂ , P _m или P2/m a ₀ = 19,05 b ₀ = 4,11 c ₀ = 17,33 β = 96°20' Z = 1	Обнаружен в четырех месторождениях **		39,7- 34,8 (λ = 450)	40,0- 34,9	39,6- 34,2	37,4- 32,7	0,14		Jambor, 1969
Плейферит Pb ₁₆ (Sb,As) ₁₈ S ₄₃ 1,77:1 2:1	51,0	28,0(2,4) 8:1	18,8	Монокл. с. P2, Pm или P2/m a ₀ = 45,4 b ₀ = 2b' = 8,29 c ₀ = 21,3 β = 92°30'	Мэдок*. Обнаружен в нескольких шлифах в виде прожилков и по периферии буланжерита и др. сульфантимонитов	Удлинен по оси b; двойники; спайность совершенная по {100}; черта черная; уд. вес 5,83 (вычисл. 5,81)	42,3- 38,3	40,3- 36,4	39,2- 35,4	37,7- 34,0	0,11 - -171	Rg - белый Rp - буроватый	Jambor, 1967 синтезирован, t ~ 400°
Сорбит Pb ₁₂ (Sb,As) ₁₄ S ₃₃ 1,71:1	46 47	25(6) 25,5(5,8)	21 21,5	Монокл. с. a ₀ = 44,9 b ₀ = 2b' = 8,28 c ₀ = 26,4 β = 113°25' Z = 2	Мэдок*. Единичные зерна	Двойники; черта черная	45- 39		41- 36	40- 34	0,12	172- -186	Jambor, 1967
Лонзит Pb ₂₂ Sb ₂₆ S ₆₁ (?) 1,69:1	48,5	29,5(1,5)	21,3	Монокл. с. C2, Cm или C2/m a ₀ = 42,6 b ₀ = 2b' = 8,04 c ₀ = 32,3 β = 102°05' Псевдоочейка: b = 4,02 Z = 2	Мэдок*. В шлифах с буланжеритом, веенитом	Удлинен по (010) слабо волокнистый; спайность в двух направлениях совершенная; черта черная; уд. вес. 5,75 (вычисл. 5,83); по дебаеграмме сходен с козалитом	46,2- 38,6	43,8- 36,9	42,7- 36,2	40,9- 35,5	0,15	171- -197	Jambor, 1967
Тинтинит Pb ₅ Sb ₈ S ₁₇ 1,25:1	42,3	34,5	21,3	Ромб. с. D _{2h} - Pnnm a ₀ = 22,30 b ₀ = 34,00 c ₀ = 4,04 Z = 4	Серебряный рудник Тинтина (Юкон, Канада)	Сурьмяный аналог кобеллита, с которым образует изоморфный ряд; очевидно, диморфен с плагионитом							Harris, Jambor and ors, 1968
Геттардит Pb ₉ (Sb,As) ₁₆ S ₃₃ 1,12:1	44,5 43,5	22(12) 22(12)	21,5 20,5 100: 89 ~ 1:1	Монокл. с. C2h - P2 ₁ /a a ₀ = 20,0 b ₀ = 7,94 c ₀ = 8,72 β = 101°35' Z = 1	Мэдок*. Аллотриоморфные зерна	Спайность совершенная по {100}; полисинтетические двойники; черта с коричневым оттенком; уд. вес 5,44 (вычисл. 5,49), сходен с твиннитом; наблюдались красные внутренние рефлексы	44,2- 36,3	42,0- 34,8	40,8- 34,0	39,0- 35,5	0,15	180- -187	Jambor, 1967
Твиннит ~ Pb(Sb,As) ₂ S ₄ 1:1	41	28(11) 3:2	23	Трикл. с.; псевдоочейка: ромб. с. D _{2h} Pmnm a ₀ = 19,6 b ₀ = 7,99 c ₀ = 2c' = 8,60 α = β = γ = 90° Z = 8	Мэдок*. Два зерна ~ 1,5 мм и в шлифах	Совершенная спайность; полисинтетические двойники; черта коричневая; уд. вес 5,26 (вычисл. 5,32). Сходен с сарторитом	45,6- 38,7	43,0- 36,9	41,6- 35,9	39,6- 34,6	0,14	147	Jambor, 1967

*Месторождение Мэдок (Онтарио, Канада). Кроме перечисленных в таблице редких сульфантимонитов свинца в рудах известны: баумгауэрит, буланжерит, робинсонит, джемсонит, семсейит, геокронит, цинкениит.
**Дадсонит описан в месторождениях Персинг Коунти, США, Невада; Вольфсберг, ФРГ; Елоу Найф, Канада (как минерал = Q); Мэдок, Онтарио, Канада (как минерал ≠ M).

способность; заметные в воздухе двуотражение и эффекты анизотропии; трудно наблюдаемые (обычно только с иммерсией) буровато-красные внутренние рефлексы¹; рельеф ниже галенита.

В спектрах отражения минералов также наблюдается большое сходство; особенно близки кривые дисперсии R_g ; кривые R_p , полностью аналогичные по профилю, различаются по абсолютным значениям; заметно ниже других на графике $R-\lambda$ располагаются кривые плагионита и гетероморфита. Более определенно различаются сульфоантимониты по силе двуотражения (табл. 27). Наименьшее значение $\Delta R_{отн.}$ (5-7%) имеет геокронит, наиболее сильно двуотражают плагионит и гетероморфит ($\Delta R_{отн.} = 20-23\%$); к сильно двуотражающим могут быть отнесены также менегинит и буланжерит ($\Delta R_{отн.} = 17\%$); джемсонит и цинкениит — умеренно двуотражающие минералы группы ($\Delta R_{отн.} = 11-13\%$).

Отмеченные различия достаточно четко выявляются лишь в главных сечениях минералов; поэтому в случае измерения ограниченного числа зерен по кривым дисперсии R не всегда оказывается возможным точно распознать сульфоантимонит. Наименее уверенно в шлифах различаются менегинит, буланжерит и джемсонит. При подозрениях на джемсонит, помимо исследования спектров отражения и твердости полезно наблюдение полисинтетических двойников, очень характерных для этого минерала и отсутствующих у буланжерита и менегинита.

С описанными минералами по визуальному восприятию в шлифах сходны овихит, халькостибит, бурнонит, в меньшей степени антимонит; все эти минералы по кривым дисперсии R отличаются от сульфоантимонитов вполне уверенно (Безсмертная, Чвилева и др., 1973).

Возможности рентгенометрического анализа в диагностике сульфоантимонитов свинца неравноценны для разных минералов группы. По картинам межплоскостных расстояний вполне достоверно могут быть определены буланжерит, джемсонит, цинкениит и менегинит; геокронит, отличаясь от всех других сульфоантимонитов свинца, по дебаеграмме идентичен с иорданитом. Мало распространенные сульфоантимониты — минералы плагионитовой группы: семсейит, гетероморфит, плагионит и фюлеппит вследствие исключительной структурной близости только на основании рентгенометрических данных уверенно не различаются.

Сведения о новых сульфоантимонитах свинца, открытых в последние годы (главным образом в полированных шлифах) и изученных на рентгеноспектральном анализаторе, сообщаются в табл. 28.

¹ В проходящем инфракрасном свете сульфоантимониты свинца прозрачны (Тубо, 1964); труднее других просвечивает джемсонит (Гирина и др., 1965).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА И РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МИНЕРАЛАХ ГРУППЫ

В справочной и периодической минералогической литературе имеется большое количество химических анализов сульфoантимонитов свинца, однако лишь немногие из них могут быть использованы для суждения о действительном химическом составе минералов и для расчета формул: в большинстве своем анализы противоречивы, так как либо не являются полными, либо представляют несомненный результат химического исследования смеси минералов, а также минералов, неправильно диагностированных. Разноречивость сведений до сих пор дает повод для дискуссий о химическом составе и формулах менегинита и даже таких, более широко распространенных минералов, как джемсонит и цинкениит.

При обсуждении химического состава сульфoантимонитов свинца нами будут рассмотрены две стороны вопроса: 1) соотношения главных элементов, входящих в формулы минералов и 2) редкие элементы — примеси, характерные для минералов группы.

1. Химические составы каждого сульфoантимонита в отношении главных элементов и в отношении правомочности той или иной из дискуSSIONИРУЮЩИХСЯ формул были детально обсуждены в соответствующих разделах работы, при описании минералов, и к этим вопросам в данной главе мы возвращаться не будем. Здесь будут рассмотрены только некоторые общие закономерности, характерные для группы в целом.

Химические составы минералов по набору элементов характеризуются большим однообразием: из 10 минералов группы (табл. 27) 7 минералов являются соединениями свинца, сурьмы и серы; только в трех минералах, кроме этих элементов, присутствуют мышьяк (в геокроните), медь (в менегините) и железо (в джемсоните).

Такие элементы, как медь, железо, мышьяк, входящие в формулы только некоторых сульфoантимонитов свинца, в небольших количествах химическим анализом обнаружены практически во всех минералах группы: медь — в геокроните, буланжерите, джемсоните, цинкениите; железо — в геокроните, менегините, буланжерите, плагионите, цинкениите; мышьяк — в буланжерите. Кроме того, в образцах буланжерита из Алайского хребта определен висмут в количестве 4,5%. Незначительные содержания висмута (десятые, сотые доли процента) установлены в некоторых пробах джемсонита. В нескольких анализах буланжерита присутствует цинк.

Все эти элементы обнаруживаются и с помощью полуколичественного спектрального анализа как в образцах, химически проанализированных, так и во всех других изученных нами образцах сульфoантимонитов свинца.

Присутствие в незначительных количествах довольно широкого и разнообразного комплекса элементов в анализах сульфоантимонитов свинца объясняется разными причинами. Такие элементы, как железо, цинк и медь в анализах буланжерита, очевидно, присутствуют за счет механических примесей пирита, сфалерита и халькопирита — эти минералы наблюдались в рудах, из которых отбирались пробы буланжерита. По-видимому, того же происхождения медь в анализах джемсонита и линкенина, а также железо в анализах цинкенина и плагниона и, возможно, менегинита хотя не исключено, что какая-то часть этих элементов может присутствовать и в виде изоморфной примеси.

Иное объяснение должно быть найдено для мышьяка и висмута. Собственные минералы мышьяка и висмута в изученных образцах обнаружены не были. Во всех случаях, когда в анализах присутствовали эти элементы, содержания сурьмы оказывались ниже теоретического. Такие закономерные соотношения элементов наводят на мысль об изоморфном замещении сурьмы мышьяком и висмутом. Подобная замена общеизвестна в минералах группы блеклых руд, в ряду прустит — пираргирит. Близость кристаллохимических свойств у элементов V⁶ подгруппы таблицы Менделеева — у мышьяка, сурьмы и висмута, и в первую очередь, у первых двух, а также сложность кристаллических построек сульфоантимонитов свинца допускают возможность замены сурьмы мышьяком и висмутом в структурах сульфоантимонитов. По-видимому, наиболее легко осуществляется замещение мышьяком, имеющим большее, чем висмут, сходство с сурьмой. Примером, по всей вероятности, совершенного изоморфизма между сурьмой и мышьяком в группе сульфоантимонитов свинца служит геокронит, являющийся существенно сурьмянистым минералом в изоморфном ряду геокронит — иорданит. Что касается других сульфоантимонитов свинца, то фактический материал, полученный нами, а также химические анализы, имеющиеся в литературе, показывают весьма ограниченное развитие такого изоморфизма — содержание мышьяка редко превышает 1,0%. По-видимому, еще более ограничены пределы замещения сурьмы висмутом, и в этом отношении обнаруженный автором висмутсодержащий буланжерит (с 4,5% висмута) представляет скорее исключение, чем обычное для этих элементов явление (Чвилёва, Новороссова, 1965).

Таким образом, новые химические, а также спектральные анализы, выполненные на тщательно отобранном материале образцов сульфоантимонитов из месторождений различных геологических провинций мира, свидетельствуют о значительной чистоте и постоянстве состава минералов — химические составы каждого индивидуального минерального вида группы постоянны; пределы колебаний в содержаниях главных компонентов, входящих в формулу, незначительны и в большинстве случаев соизмеримы с точностью аналитических определений.

2. Специальные систематические исследования сульфоантимонитов свинца на редкие элементы до сих пор не проводились. Поэтому материалы, имеющиеся в литературе в отношении концентрации редких элементов в минералах группы, весьма ограничены. Имеются лишь отрывочные, эпизодические сведения по некоторым минералам: геокрониту, буланжериту, менегиниту; ничего не известно о накоплении редких

элементов такими распространенными минералами, как джемсонит и цинкениит, полностью отсутствуют данные о редких элементах в плагионите. Неудивительно поэтому, что никаких обобщающих сводок, показывающих общие закономерности накопления редких элементов в масштабах крупных регионов, как это имеется уже в отношении многих других минералов, по сульфоантимонитам до сих пор нет. Только в работах К.Ф.Кузнецова излагаются результаты изучения распределения редких элементов в сульфоантимонитах свинца полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья. Однако в связи с систематическими ошибками в определениях сульфоантимонитов в этом районе, некоторые из выявленных К.Ф.Кузнецовым интересных закономерностей приписываются не тому минералу.

Автором редкие элементы в сульфоантимонитах свинца изучались на материалах многих месторождений. Спектральным полуколичественным методом было проанализировано 130 образцов шести минералов группы с различных месторождений мира, для 15 образцов выполнены количественные химические определения на таллий и индий. В числе изученных образцов оказались сульфоантимониты и из редкометальных провинций и месторождений и из месторождений, руды которых не содержат высоких концентраций редких элементов. Полученные результаты сообщаются в табл. 29 и 30 и обсуждаются далее в тексте.

Характерными элементами-примесями в минералах группы являются серебро, олово, таллий, индий и кадмий.

Серебро обнаружено во всех образцах всех шести изученных сульфоантимонитов. Содержание этого элемента в большинстве проб, согласно данным спектральных и химических анализов, составляет от нескольких сотых до десятых долей процента. Самые высокие содержания (0,п - 1,0%) определены в геокроните, минимальные (0,0п %) зафиксированы в плагионите и цинкениите.

Олово систематически обнаруживается в геокроните, менегините, буланжерите и джемсоните. Наиболее высокие содержания олова - сотые, нередко десятые доли процента - определены в образцах этих минералов из полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья. Олово отсутствует в плагионите и не характерно для цинкениита - оно установлено только в цинкениите из руд месторождений Гурдара, Терекского и Зиддинского - Средняя Азия, причем содержания олова в цинкениите из месторождения Гурдара порядка 0,001%, в то время как в цинкениите Зиддинского месторождения концентрации этого элемента достигают нескольких сотых до десятых долей процента, т.е. на один-два порядка выше¹.

Таллий создает в сульфоантимонитах свинца значительные концентрации. Первые сведения о присутствии таллия в сульфоантимонитах были получены сравнительно недавно. Этот элемент был установ-

¹Следует заметить, что в цинкениите Зиддинского месторождения обнаруживаются аномально высокие содержания и других элементов-примесей, не характерных для этого минерала - теллура, таллия, индия, висмута, кадмия и серебра, что, по-видимому, отражает своеобразную сложную геохимическую специфику месторождения.

Содержания таллия в сульфoантимонитах свинца

Минерал	Количество анализируемых образцов	Установлен в образцах	Содержание в %	
			максимальное	наиболее обычное
Геокронит	24	24	0,15*	0,0 п
Менегинит	10	-	-	Не обнаружен
Буланжерит	33	12	0,0п	"
Джемсонит	40	7	0,00п	"
Плагионит	6	-	-	"
Цинкениит	12	2	0,001	"

*Данные количественных химических анализов; анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ИМГРЭ.

Таблица 30

Содержания индия в сульфoантимонитах свинца

Минерал	Количество анализируемых образцов	Обнаружен в образцах	Содержание, %	
			максимальное	наиболее обычное
Геокронит	24	2	0,001	Не обн.
Менегинит	10	1	0,001	"
Буланжерит	33	4	0,001	"
Джемсонит	40	33	0,037*	0,012
Плагионит	6	-	-	Не обн.
Цинкениит	12	2	0,001	"

*Данные количественных химических анализов; анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ИМГРЭ.

лен в иорданите из месторождений в Верхней Силезии (Haranczyk, 1958), Бестюбе, Казахстан (Митряева, 1963), в геокроните, буланжерите, менегините полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья (Кузнецов, 1957, 1965; Полякова, 1957). Наиболее высокие содержания таллия сообщаются для минералов ряда геокранит - иорданит. Так, в иорданите из месторождения в Силезии концентрация таллия достигает 1,56%, в иорданите Бестюбе - 0,2%, в геокроните Екатеринбургско-Благодатского месторождения - до 0,3%. Высокими содержаниями таллия, согласно данным К.Ф.Кузнецова, характеризуется также

менегинит (до 0,1%); в буланжерите (месторождения Спасской горы и Центральное) концентрации таллия более низкие и отличаются крайней неравномерностью (0,001–0,05%).

Данные о высоких содержаниях таллия в минералах ряда геокронит-иорданит находят подтверждение и в наших исследованиях. Члены ряда геокронит-иорданит являются самыми характерными концентраторами таллия среди сульфoантимонитов свинца. Из изученных нами 24 образцов геокронита различных месторождений не оказалось ни одного образца минерала без таллия. В большинстве образцов содержания таллия очень высокие – сотые-десятые доли процента. Кроме геокронита, таллий обнаружен также в некоторых образцах буланжерита. Это образцы из руд месторождений в Алайском хребте, Центрального и Дарасун (Восточное Забайкалье), Сала (Швеция), причем содержания таллия в образцах из Восточного Забайкалья, Алайского хребта и из месторождения Сала близки к содержаниям этого элемента в геокроните; в буланжерите месторождения Дарасун (три образца) содержания таллия ниже 0,001%. Во всех других проанализированных образцах буланжерита (из месторождений Нагольного Кряжа, Пришибрам, Корнуолл, Боттино, Вольфсберг, Фрайберг, Зееган, Сан-Педро) таллий не установлен. Еще менее характерен этот элемент для джемсонита; в количествах тысячных до 0,01% он был обнаружен только в образцах месторождения Центрального. Таллий отсутствует в менегините, плагионите и цинкениите¹.

Таким образом, новые данные, полученные нами, подтверждают мнение о том, что таллий концентрируется преимущественно в геокроните. Все приведенные выше литературные сведения (Haranczyk, 1958; Кузнецов, 1957; Полякова, 1957; Митряева, 1963), относились к рудам месторождений, обогащенных таллием. Имевшийся в нашем распоряжении материал более обширен и разнообразен. Результаты его изучения показывают, что накопление таллия в геокроните происходит также и в месторождениях, руды которых не несут высоких концентраций этого элемента (Рудняны, Чехословакия; Жила Зеленая – Урал). Что же касается таких минералов, как буланжерит и джемсонит, то, как показывают наши исследования (табл. 29), для них некоторое обогащение таллием отмечается только в рудах с высокими концентрациями этого элемента (Нерчинско-Заводские месторождения, Алайский хребет – СССР; Сала – Швеция).

Преимущественное вхождение таллия в геокронит объясняется, по-видимому, в первую очередь кристаллохимическими особенностями самого минерала. Вероятно, накоплению таллия способствует постоянное присутствие в геокроните мышьяка, с которым тесно связана геохимическая история таллия (Иванов, 1966; Кузнецов, Мейтув, 1967).

Неясным пока остается вопрос в отношении таллия в менегините. Казалось бы, вполне закономерно ожидать повышенные концентрации таллия в этом сульфoантимоните свинца, весьма близком по составу,

¹ В количестве 0,001% таллий определен в цинкениите с месторождения Зиддинского (Гиссарский хребет).

структуре и условиям нахождения с буланжеритом. Однако в изученных нами десяти образцах менегинита (Боттино, Италия; Алгачи, Восточное Забайкалье), как уже отмечалось, таллий не обнаружен. Возможно, отсутствие таллия в указанных образцах объясняется их принадлежностью к рудам, не несущим высоких концентраций элемента (буланжериты этих месторождений также не содержат таллия. Сведения же, имеющиеся в литературе (Кузнецов, Мейтув, 1967), относятся к рудам с высокими содержаниями таллия. Однако поскольку до сих пор менегинит систематически определялся неверно, к этим сведениям следует относиться осторожно. Из изложенного очевидно, что вопрос относительно таллия в менегините нуждается в дополнительных исследованиях.

Индий. Первые специальные исследования сульфоантимонитов свинца на индий были проведены после обнаружения этого элемента в родственных с сульфоантимонитами минералах: франкеите и цилиндрите боливийских месторождений (Brewer, Baker, 1936). На индий были опробованы буланжериты из месторождений Нагольного Кряжа (Украина), Средней Азии, Корнуолла (Англия) и некоторых других районов. Опробование показало отрицательный результат — в изученных образцах индий установлен не был (Боровик и др., 1939; Прокопенко, 1941; Андерсон, 1959).

О накоплении индия в сульфоантимонитах свинца впервые стало известно лишь в последние годы в результате изучения руд Восточно-Забайкальских полиметаллических месторождений, проведенного К.Ф.Кузнецовым (1959, 1963). Согласно его данным, индий концентрируется в буланжерите, где имеет средние содержания порядка сотых долей процента; при крайней неравномерности в содержаниях индия, повышенной индиеносностью среди нерчинско-заводских и алгачинских буланжеритов, по данным К.Ф.Кузнецова, выделяется буланжерит Центрального месторождения; в ряде проб буланжерита Центрального, Спасского и Октябрьского месторождений содержания индия оказывались в 5-10 раз выше, чем в более раннем сфалерите.

Данные, полученные К.Ф.Кузнецовым, являются единственным источником, послужившим основанием для развития представлений о высокой индиеносности буланжерита. О накоплении индия другими сульфоантимонитами свинца, в том числе и джемсонитом, сведения в литературе отсутствуют.

Проведенное в процессе настоящего исследования детальное изучение нерчинско-заводских сульфоантимонитов показало, что К.Ф.Кузнецовым справедливо обращалось внимание на повышенную индиеносность сульфоантимонитов свинца этого района; однако обнаруженные им высокие концентрации индия буланжериту были приписаны ошибочно. В основе этой ошибки лежит неправильная диагностика джемсонита. Как уже было показано нами, этот минерал, особенно в полиметаллических рудах Восточного Забайкалья, систематически определялся как буланжерит, и главным образом поэтому существовало мнение о широком развитии в месторождениях Восточного Забайкалья именно буланжерита. В действительности же, во многих месторождениях полиметаллическо-

го пояса Восточного Забайкалья и прежде всего, в месторождениях Нерчинско-Заводской группы - Центральном, Октябрьском и Спасском, преимущественным распространением пользуется джемсонит; буланжерит в них представляет лишь минералогическую редкость. Все эти обстоятельства дают основание полагать, что обширный фактический материал, сообщаемый К.Ф.Кузнецовым, в действительности должен характеризовать геохимические особенности широко развитого в этом районе сульфоантимонита свинца, т.е. джемсонита.

Проведенные нами исследования выявили следующую картину распределения индия в сульфоантимонитах свинца. По данным табл. 30 преимущественным концентратом индия в группе сульфоантимонитов свинца является джемсонит. Из проанализированных нами 40 образцов джемсонита только в 7 пробах индий не был обнаружен¹. Это образцы из месторождения Жилы Зеленой в Кочкарском районе (Урал), из месторождений Венгрии (Кавник, Байя-Маре, Арнидка), ФРГ (Вольфсберг) и Англии (Корноуолл). В остальных 33 пробах, которые представлены джемсонитами из полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья (Центральное, Спасское, Благодатское, Савинское № 5, Кличка, Запокровское, Дарасун), рудопроявления Ак-Терек (Средняя Азия), месторождений Пршибрам (Чехословакия), Таочан (Китай) и из месторождения (?) Северной Америки, средние содержания индия составляют сотые доли процента. Самые высокие содержания определены в образцах джемсонита из полиметаллических руд Нерчинско-Заводских месторождений - Центрального и Спасского, что очевидно, объясняется общей повышенной индиенностью Нерчинско-Заводских руд. Однако при таких исключительно высоких концентрациях в джемсоните, содержания индия в буланжерите этих же месторождений оказываются очень низкими - не превышающими 0,001% (см. табл. 30). Во всех образцах буланжерита с других месторождений индий практически отсутствует: кроме двух проб с Центрального месторождения индий в количестве около 0,001% определен в одном образце с месторождения Пршибрам (Чехословакия) и в образце с месторождения Зееган. Индий не был обнаружен нами в буланжерите из Алайского хребта (4 пробы), с Нагольного Кряжа (9 проб), Дарасуна (3 пробы), Сала (3 пробы), в двух (из трех анализированных) образцах Пршибрама, в образцах из Вольфсберга и Фрайберга (ГДР), Боттино (Италия) и Сан-Педро (Испания).

Для других минералов группы так же, как и для буланжерита, накопление индия не характерно. Индий отсутствует в плагионите и цинкениите (за исключением цинкениита Зиддинского месторождения, на аномалии которого в отношении редких элементов мы уже обращали внимание), в количестве около 0,001% установлен в двух образцах геокронита (месторождения Екатерино-Благодатское и Смирновское) и в одном образце менегинита (из алгачинских руд).

Таким образом, преимущественным концентратом индия в группе сульфоантимонитов свинца, как это следует из приведенного фактического материала, является джемсонит.

¹Чувствительность спектрального открытия индия - 0,001%.

Обогащенность индием джемсонита не случайна. Джемсонит — это единственный сульфоантимонит свинца, содержащий в своем составе железо. Приуроченность индия именно к железосодержащему минералу из группы сульфоантимонитов находится в плане общей закономерности, выявленной в последние годы для этого элемента (Иванов, 1964).

Через всю геохимическую историю индия, тесно связанную с оловом и цинком, красной нитью проходит и другая, чрезвычайно важная особенность этого элемента — тесная связь с железом. На близость индия с железом по условиям нахождения в природе было в свое время обращено внимание еще В.И.Вернадским (1911) и для частных случаев указывалось Н.М.Прокопенко (1941), А.Е.Ферсманом (1939), Шоу (Shaw, 1952), В.В.Шербиной (1956). В работах В.В.Иванова (1960, 1961, 1964, 1966) эта особенность была теоретически обоснована детальным анализом кристаллохимических свойств индия и железа, физико-химических условий осаждения железо- и индийсодержащих соединений и подтверждена многочисленными примерами природных объектов. Четкая корреляционная зависимость в содержаниях индия и железа была прослежена В.В.Ивановым во всех классах минералов, начиная от силикатов (пироксены, амфиболы, слюды), характерных для высокотемпературных магматических процессов, через типичные пегматитовые и пневматолитовые образования (турмалин, касситерит, вольфрамит), вплоть до самых низкотемпературных гидротермальных минералов (хлориты, карбонаты, сфалерит). Во всех перечисленных минералах концентрации индия повышаются по мере увеличения степени их железистости. Выявленная нашим исследованием приуроченность индия к железосодержащему сульфоантимониту свинца оказывается, таким образом, вполне закономерной. В эту общую закономерность хорошо вписываются и данные о присутствии индия в бертьерите (Сахарова, 1959) и о высоких концентрациях его в станнине (Иванов, 1960). Вполне возможно также, что и в блеклой руде присутствие индия (Андерсон, 1959; Иванов, 1960; Сахарова, 1966) обязано наличию железа в составе минерала.

В свете изложенных данных становятся понятными отрицательные результаты неоднократных попыток обнаружения индия в буланжерите (Боровик и др., 1939; Прокопенко, 1941). Новое объяснение находят также и факты, обнаруженные К.Ф.Кузнецовым в картине распределения индия (а также и кадмия, что будет показано ниже) в сульфоантимонитах свинца месторождений Северного Приаргунья. Так, исключительно высокие, не испытывающие резких колебаний содержания индия в сульфоантимонитах Центрального, Спасского и Октябрьского месторождений, обязаны преимущественному развитию в этих рудах джемсонита; за счет джемсонита, очевидно, возникли и аномально высокие по отношению к сфалериту содержания индия в сульфоантимоните, ранее считавшемся буланжеритом; причиной крайней неравномерности в концентрациях индия в "буланжеритах" Екатерино-Благодатского и Благодатского месторождений с одной стороны, и Центрального, Спасского и Октябрьского, с другой, являются не только различия в физико-химических условиях рудоотложения, как полагал К.Ф.Кузнецов, но прежде всего тот факт, что в рудах указанных месторождений присутствуют разные сульфоантимониты свинца — буланжерит, для которого

накопление индия не характерно (Благodatское, Екатерино-Благodatское месторождения) и джемсонит, несущий высокие концентрации этого элемента (Центральное, Спасское и Октябрьское месторождения).

Кадмий. Сведения о кадмии в сульфoантимонитах свинца относятся только к двум объектам: к рудам месторождений Депутатской группы (Иванов, 1961) и полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья (Кузнецов, 1959, 1967). Для обоих объектов сообщается, что кадмий был обнаружен в буланжерите. В месторождениях Депутатской группы содержания кадмия в буланжерите указываются в пределах 0,05–0,3%, в буланжерите Восточного Забайкалья, согласно данным К.Ф.Кузнецова, они более низкие (0,005–0,025%), причем буланжерит Алгачинского рудного поля обычно в два раза беднее кадмием (0,005%), чем буланжерит Нерчинско-Заводских руд (0,01–0,025%); в Нерчинско-Заводских месторождениях содержания кадмия в буланжерите в десять раз превышают содержания его в галените.

Проведенная нами работа показала, что представления о повышенной кадмиености буланжерита, как и в отношении накопления в этом минерале индия, возникли в связи с систематической диагностической ошибкой в определениях джемсонита. Кадмий, так же, как и близкий к нему по ряду кристаллохимических особенностей индий, в действительности обнаруживает четкую приуроченность к джемсониту. В количестве тысячных-сотых долей процента кадмий определен нами во всех 25 проанализированных образцах джемсонита из полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья (за исключением двух образцов Запокровского месторождения), в джемсоните месторождений Дарасун (Восточное Забайкалье), Жила Зеленая, Ак-Терек, Кавник и Арнидка, Вольфсберг, в одном из двух образцов месторождения Корнуолл, а также в одном из двух проанализированных образцов с месторождения Таочан. Не был обнаружен кадмий, кроме упоминавшихся уже образцов с месторождений Запокровского, Корнуолл и Таочан, также в джемсоните месторождений Кутна Гора (Чехословакия) и Байя-Маре (Венгрия).

Для всех других минералов группы сульфoантимонитов свинца, в том числе и для буланжерита, кадмий не характерен. Он не установлен ни в одном из шести анализированных образцов плагионита, в цинкениите из 12 проб определен только в двух в количестве около 0,001% (месторождения Терекское и Зиддинское), в менегините из 10 проб установлен в двух пробах (Алгачинское месторождение), в геокроните из 24 образцов – в 5 (Алайский хребет, Воздвиженское и Резановское месторождения из Восточного Забайкалья; Жила Зеленая, Урал). В буланжерите из 35 проанализированных образцов кадмий установлен лишь в трех образцах в количествах около 0,001% (Алайский хребет, Сала, Зееган). В буланжерите нерчинско-заводских руд (три образца с месторождения Центрального) кадмий не обнаружен.

Предпочтительное перед другими сульфoантимонитами свинца вхождение кадмия (так же, как и индия) в железосодержащий сульфoантимонит не является неожиданностью. По целому ряду кристаллохимических свойств и физико-химических особенностей, определяющих геохимические пути миграции элементов и реальные возможности их изоморфизма, наибольшее сходство кадмий проявляет с индием, цинком и же-

лезом (Иванов, 1964). Сходство с железом, большее, чем со свинцом, обуславливает приуроченность кадмия именно к джемсониту, а не к буланжериту. Преимущественное концентрирование кадмия джемсонитом легко разрешает вопрос с аномально высокими по отношению к галениту содержаниями этого элемента в сульфоантимоните свинца Нерчинско-Заводских руд. При определении этого сульфоантимонита в качестве буланжерита казались трудно объяснимыми содержания в нем индия, более высокие, чем в галените. Естественнее было бы предполагать, исходя из тесной геохимической связи кадмия и свинца, более высокие содержания кадмия в галените, т.е. в минерале с более высоким, чем в буланжерите, содержанием свинца. Принадлежность Нерчинско-Заводского сульфоантимонита к джемсониту разрешает затруднение, так как в этом случае к объяснению привлекается новый фактор — более значительная по ряду кристаллохимических и физико-химических свойств близость кадмия к железу, чем к свинцу.

Вопрос о формах нахождения редких элементов в сульфоантимонитах свинца совершенно не изучен, экспериментальных исследований в этом направлении не проводилось. Потому в настоящее время этот вопрос может решаться только предположительно на основании анализа кристаллохимических свойств элементов, аналогий и обобщения немногочисленных эмпирических фактов. Рядом исследователей были высказаны предположения о возможных изоморфных замещениях. Об изоморфных замещениях индия и кадмия предположения относились к буланжериту, так как считалось, что их концентратом в группе сульфоантимонитов свинца является этот минерал. Так, присутствие кадмия в буланжерите В.В.Иванов (1961, 1964) склонен объяснять изоморфными замещениями свинца кадмием¹. Подобным же образом, но с дополнительной компенсацией появляющейся отрицательной валентности с помощью одновалентного катиона, согласно В.В.Иванову (1964), происходит в буланжерите ограниченное замещение свинца на индий: $2\text{Pb}^{2+} \leftarrow \text{Jn}^{3+} + \text{Ag}^{1+}$

Выявленная нами приуроченность индия и кадмия к джемсониту позволяют предполагать другую схему возможных изоморфных замещений. Предпочтительное вхождение этих элементов в железосодержащий сульфоантимонит свинца может косвенно свидетельствовать в пользу более легко осуществляемого в сульфоантимонитах изоморфного замещения индием и кадмием железа. Механизм такого замещения, по-видимому, аналогичен замещению свинца.

Механизм вхождения таллия в сульфоантимониты свинца, особенно в случае высоких его концентраций, остается неясным. Возможно, что здесь имеет место компенсационный изоморфизм, подобный тому, который был предположен для галенита (Иванов и др., 1960): $2\text{Pb}^{2+} \leftarrow \text{Ti}^{1+} \text{Sb}^{3+} (\text{As}^{3+})$. Наиболее вероятным нам представляется вхождение таллия одновременно с мышьяком, так как именно мышьякосодержащий сульфоантимонит свинца — геокронит является преимущественным концентратом таллия.

¹ Возможность подобной замены ранее предполагалась Гольдшмидтом (Goldschmidt, 1954) для галенита.

Приведенный краткий обзор фактического материала по спектральному и химическому изучению сульфoантимонитов показывает определенные закономерности в распределении редких элементов в минералах группы и позволяет сделать следующие выводы.

1. Сульфoантимониты свинца являются концентраторами ряда редких и рассеянных элементов. Высокосвинцовистые минералы группы – геокронит, менегинит, буланжерит и джемсонит, представляющие собой типоморфные образования свинцово-цинковых руд, как правило, богаче примесями; плагинит и цинкениит, минералы группы с наиболее низкими содержаниями свинца, являющиеся типоморфными сульфoантимонитами свинца сурьмяных месторождений и руд, обычно завершающих процесс рудообразования, отличаются сравнительной чистотой химического состава.

2. Два минерала группы являются серьезными селективными концентраторами редких элементов: геокронит – таллия и джемсонит – индия и кадмия.

Наиболее высокие содержания таллия (порядка десятых долей процента и выше) определены в геокроните нерчинско-заводских руд и в образцах этого минерала из месторождения Сала (Швеция). Эти содержания, в 1000–1500 раз превышающие кларк таллия в земной коре – $1,0 \cdot 10^{-4}$ (Виноградов, 1962; Иванов, 1964), постоянно превышают концентрации этого элемента в сфалерите, галените, халькопирите – главных минералах-носителях таллия в рудах гидротермальных месторождений (Иванов, 1966; Кузнецов, Мейтув, 1967). Высокая таллиеносность минерала и его широкое развитие в ряде полиметаллических месторождений позволяют рассматривать геокронит в числе гравных концентраторов таллия. В меньших количествах и только в месторождениях, обогащенных таллием, присутствует этот элемент в буланжерите.

Практически единственным минералом-носителем индия и кадмия в группе сульфoантимонитов свинца является джемсонит. Содержания индия в джемсоните нередко превышают концентрации его в сфалерите тех же месторождений; содержания кадмия часто выше, чем в галените.

Существующие в настоящее время представления о преимущественном накоплении индия и кадмия в буланжерите обязаны неправильной диагностике джемсонита.

3. Изучение закономерностей распределения редких элементов в сульфoантимонитах свинца проводилось нами на довольно пестром и в значительной мере разрозненном материале. Многие из изучавшихся образцов, и в особенности многочисленные образцы из музеев, не могли быть привязаны к определенным рудным телам и горизонтам. При таком подборе материала влияние на степень концентрации редких элементов структурно-литологических и некоторых физико-химических факторов рудоотложения было в значительной мере снижено. Выявленные закономерности при подобном подборе материала определяются главным образом кристаллохимическими свойствами редких элементов и элементов, входящих в основной состав минерала-хозяина. Пример сульфoантимонитов свинца показывает, что среди причин, определяющих

накопление редких элементов в том или ином минерале, факторами первостепенной важности являются кристаллохимические особенности элементов.

4. Знание истинной картины распределения редких элементов в группе сульфоантимонитов имеет не только чисто минералогическое значение, но должно приобрести и большой практический смысл при решении вопросов комплексного обогащения и переработки руд.

О МЕСТЕ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА
В ПРОЦЕССАХ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Новые факты и закономерности генетического характера, выявленные в связи с изучением диагностических свойств сульфoантимонитов свинца, позволяют внести большую четкость в представление о месте этих минералов в общем процессе рудоотложения и рассматривать минералы группы в качестве типоморфных образований в определенных рудных ассоциациях. Обсуждая проблему парагенезисов, автор не ставит своей задачей охватить все наблюдающееся в природе взаимоотношения сульфoантимонитов. Для этого мы не предполагаем необходимыми достоверными фактами. В этой главе предполагается показать общую закономерность эволюции природных соединений, образующихся в системе $Pb-Sb-S$, для того чтобы привлечь к группе сульфoантимонитов свинца серьезное внимание исследователей, занимающихся общими проблемами рудообразования.

В настоящее время существует представление об образовании всех минералов группы в одну, так называемую сульфoантимонитовую стадию. В справочниках и оригинальных работах указано, что сульфoантимониты свинца образуют тесные взаимные прорастания и обычно ассоциируют с широким комплексом минералов сурьмяных и полиметаллических месторождений; в числе наиболее типичных спутников всех минералов этой группы называются галенит и антимонит (Минералы, т. I, 1960; Рамдор, 1962; Дж.Дэна и др., 1950).

Суждение о последовательном минералообразовании в системе $Pb-Sb-S$ впервые было высказано Г.О.Григоряном (1960); на примере анализа минеральных ассоциаций различных стадий свинцово-сурьмяных (Азатекского, Софибинского) и полиметаллических (Гюмушханского, Газминского, Мазринского и др.) месторождений Армении было показано, что свинцово-сурьмяное минералообразование развивается в направлении уменьшения концентрации свинца в рудообразующих растворах и повышения концентрации сурьмы и серы. Привлекая к объяснению наблюдаемых фактов некоторые теоретические положения геохимии и неорганической химии, Григорян наметил следующий предполагаемый ход свинцово-сурьмяного эндогенного минералообразования: при избытке в системе Pb^{2+} должен отлагаться галенит в парагенезисе с богатыми свинцом сульфoантимонитами (геокронитом, менегинитом, буланжеритом); в случае избытка $[Sb_2S_4]^{2-}$ - будут кристаллизоваться только сульфoантимониты без галенита; выделение антимонита происходит позже, так как для образования этого минерала требуется высокий режим кислорода.

Работа Г.О.Григоряна явилась значительным шагом на пути познания особенностей свинцово-сурьмяного минералообразования, однако, ряд важных положений и фактов не нашёл в ней необходимого отображения.

Вопрос о месте сульфоантимонитов свинца в процессе рудообразования обсуждался автором в статьях (1966, 1969). Изучая музейные коллекции, мы имели возможность ознакомиться с рудами разнообразных по типам месторождений из многих рудных провинций мира, для которых сульфоантимониты являются характерными минералами (Вольфсберг, ФРГ; Боттино, Италия; Корнуолл, Англия; Пршибрам, Чехословакия; Нагольный кряж и месторождения Восточного Забайкалья, СССР, и др.). Было обнаружено, что многие сульфоантимониты свинца встречаются обособленно друг от друга в индивидуальных минеральных ассоциациях и являются весьма характерными минералами в месторождениях различных генетических типов. В дополнение к наблюдениям, сделанным Г.О.Григоряном в месторождениях Армении, о приуроченности буланжерита к богатым свинцовым рудам и разобщенности образований галенита и антимонита, нами было обращено внимание на постоянную ассоциацию с галенитом наиболее богатых свинцом сульфоантимонитов — геокронита и менегинита, на отсутствие в этой ассоциации джемсонита и на постоянное нахождение в сурьмяных рудах наиболее богатых сурьмой минералов группы — плагионита и цинкениита. Все эти факты свидетельствуют, что представление о преимущественно совместном образовании всех сульфоантимонитов свинца не отвечает наблюдаемым в природе взаимоотношениям минералов.

Обнаруженная закономерная приуроченность различных сульфоантимонитов свинца к определенным типам рудных месторождений (или к определенным типам руд) находится в связи с особенностями химического состава минералов.

Все сульфоантимониты свинца представляют собой соединения в основном трех самых распространенных в рудном процессе элементов — свинца, сурьмы и серы. Химические составы их различаются между собой, главным образом, по содержанию свинца и сурьмы, или по величине отношения $PbS:Sb_2S_3$ (см. табл. 27). Это отношение (т.е. отношение основной и ангидридной частей в составе минерала) от геокронита к фюлэпиту уменьшается от 5:1 до 0,75:1; соответственно содержание свинца уменьшается от 69,62% (в геокроните) до 29,93% (в фюлэпите), а содержание сурьмы возрастает от ~ 8% (в геокроните) до 46,91% (в фюлэпите).

В соответствии с изменением в составе минералов отношения свинца и сурьмы (т.е. $PbS:Sb_2S_3$) находятся, как уже отмечалось, физические свойства сульфоантимонитов: интенсивность отражения, удельный вес (рис. 30), твердость; закономерные изменения парагенетических ассоциаций также оказываются не менее четкими. Наиболее богатые свинцом минералы группы — геокронит, менегинит, буланжерит систематически встречаются в полиметаллических, существенно галенитовых месторождениях или рудах; геокронит и менегинит постоянно наблюдаются с галенитом в тесной ассоциации, свидетельствующей об одновременности или очень близкой последовательности выделения; бу-

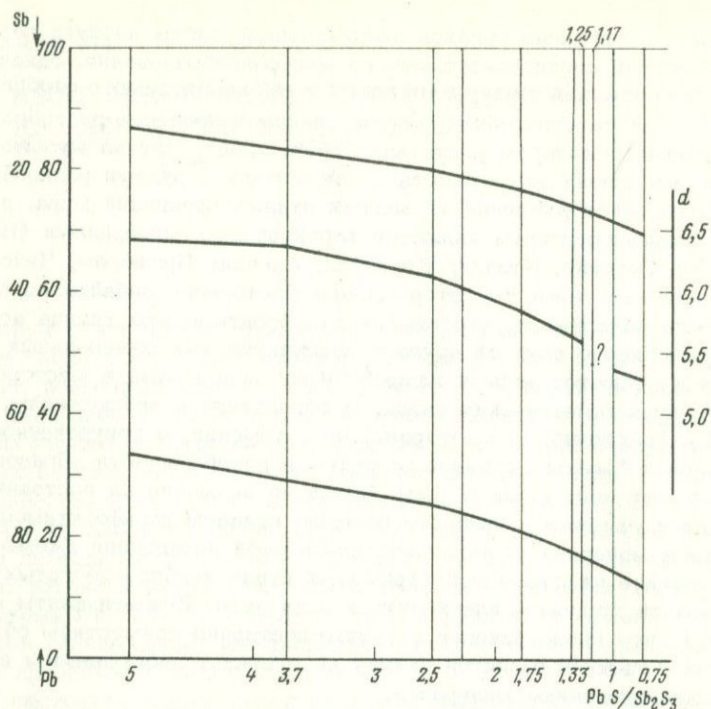


Рис. 30. График — диаграмма химических составов сульфоантимонитов свинца (в атомн %) и зависимость удельного веса минералов от соотношения свинца и сурьмы

ланжерит также часто встречается с галенитом, но для этого, более бедного, чем геокронит и менегинит, свинцом сульфоантимонита известны и самостоятельные мономинеральные скопления¹.

Определенную связь с богатыми свинцовыми рудами обнаруживает и семсейит. Представляя, очевидно, не одновременное, а более позднее, чем галенит, образование, этот очень редкий сульфоантимонит свинца наблюдается в виде кристаллических корочек, агрегатов кристаллов, нарощих на галенит.

Джемсонит, еще более бедный свинцом и содержащий железо сульфоантимонит, также характерен для свинцово-цинковых месторождений. Однако наблюдается джемсонит в иной минеральной ассоциации, чем та, которая обычна для буланжерита; прежде всего здесь отсутствует галенит; руды с джемсонитом всегда богаты пиритом, высокожелезистым сфалеритом, нередко — пирротином (месторождения Центральное, Спасское, Благодатское, Савинское № 5, Запокровское и др. в Восточ-

¹Постоянными спутниками всех трех сульфоантимонитов и особенно менегинита являются также халькопирит, бурнонит, часто тетраэдрит.

ном Забайкалье). Отсутствие галенита в ассоциации с джемсонитом, обилие железосодержащих минералов свидетельствуют о более низком содержании свинца в рудообразующем растворе и о высоких концентрациях в нем железа.

Гетероморфит, плагионит, и в особенности наиболее бедный свинцом сульфoантимонит – цинкениит, образуются в существенно сурьмяных месторождениях (или рудах) и всегда наблюдаются в антимонитовых рудах, в которых галенит отсутствует (месторождения Гурдара, Азатек, Дарасун, Вольфсберг). Имеющиеся в литературе сведения о нахождении цинкениита в свинцово-цинковых месторождениях и буланжерита и джемсонита – в сурьмяных ("Минералы", т. I, 1960; Рамдор, 1962) являются, очевидно, ошибочными и обязаны неправильным определениям минералов, когда в одних случаях за цинкениит были приняты джемсонит (как это установлено нами для образцов с месторождения Морей Майн¹ и буланжерит (обр. 47719, Корнуолл), а в других случаях действительные цинкенииты именовались буланжеритом и джемсонитом (обр. 59214, 59215, Гурдара).

В распоряжении автора не было образцов робинсонита и фюлэппита. Имеющиеся литературные сведения по ассоциациям этих минералов согласуются с описанной схемой в отношении фюлэппита: единственная находка этого самого богатого сурьмой сульфoантимонита свинца сделана на сурьмяном месторождении Нагибанья, где фюлэппит обнаружен в ассоциации с цинкениитом ("Минералы", т. I). Робинсонит установлен в природе лишь в одном месторождении – в ртутном руднике Ред Берд, где он описан в ассоциации с буланжеритом, антимонитом, пиритом, сфалеритом ("Минералы", т. I); мало вероятным в этой преимущественно сурьмяной ассоциации представляется присутствие богатого свинцом сульфoантимонита – буланжерита.

Как видно из приведенного краткого обзора, и из материалов, изложенных в первой главе книги, сульфoантимониты свинца образуются в различного типа месторождениях, возникающих в широком интервале физико-химических условий, и обнаруживают четкую корреляцию с химическим составом руд, одновременно с которыми эти минералы возникли и, в первую очередь, с соотношением свинца и сурьмы.

Установленная закономерность приуроченность богатых свинцом сульфoантимонитов к полиметаллическим месторождениям, а наиболее богатых сурьмой – к сурьмяным, имеет общий характер; отсюда напрашивается вывод: соотношение концентраций свинца и сурьмы в растворах является решающим фактором для образования того или иного минерального вида сульфoантимонитов свинца.

Если справедливо общепринятое, сложившееся в результате длительного опыта изучения рудных месторождений, представление о том, что образование свинцовых (галенитовых) руд обычно предшествуют появлению сурьмяных минералов и что сурьмяное минералообразование является заключительной стадией общего процесса рудоотложения, то нормальному, затухающему ходу процесса рудообразования, происходя-

¹Обр. 2598, 39557. Минералогический музей АН СССР, Москва.

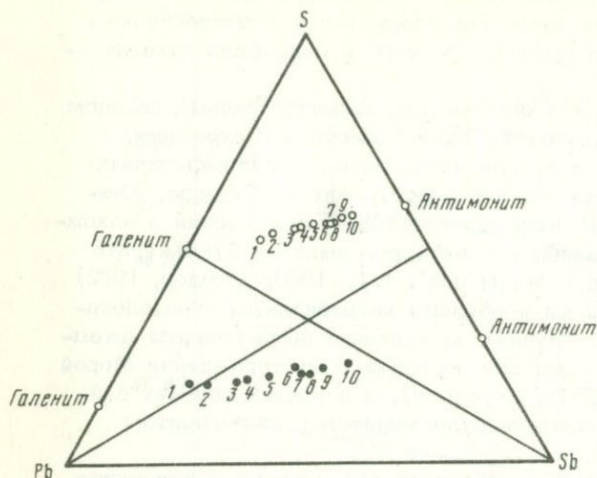


Рис. 31. Диаграмма составов минералов в системе Pb-Sb-S; кружочки светлые - атомн %; черные - вес. %

- 1 - геокронит, 2 - менегинит, 3 - буланжерит, 4 - семсейит, 5 - гетероморфит, 6 - джемсонит, 7 - плагионит, 8 - робинсонит, 9 - цинкениит, 10 - фюлэппит

шему без привноса новых порций рудного вещества (имеется в виду только система Pb-Sb-S), должна отвечать последовательность выделения сульфоантимонитов, показанная в схеме (табл. 1 и 27). Выделение к концу процесса наиболее богатых сурьмой сульфоантимонитов происходит из растворов, в которых одновременно с сурьмой повышается и роль серы (рис. 31). Такая последовательность описана в месторождении Дарасун (Ян-фэн-Цзюнь, 1962) и в месторождении Азатек (Григорян, 1960).

Нарушение закономерной последовательности и появление богатых свинцом сульфоантимонитов в поздних минеральных ассоциациях (геокронит после джемсонита) зафиксировано в ряде полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья (Кузнецов, 1963; Кузнецов, Мейтув, 1967). Без резкого изменения физико-химической обстановки, обусловившей новое повышение концентрации свинца в растворе, не представляется возможным в данном случае объяснить появление самого богатого свинцом сульфоантимонита - геокронита, после джемсонита. В полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья имело место, по-видимому, более сложное течение процесса, характеризовавшееся значительным подновлением рудных растворов.

Таким образом, сульфоантимониты свинца, представляя соединения с различными соотношениями трех самых распространенных в рудном процессе элементов - свинца, сурьмы и серы, оказываются очень удобными объектами для изучения их с целью выяснения условий образования руд. Благодаря этой особенности химического состава каждый индивидуальный минеральный вид отвечает узкому интервалу физико-химических условий и является характерным для определенных типов руд и месторождений; чутко реагируя на изменение физико-химической обстановки, с развитием процесса одни сульфоантимониты уступают свое место другим и потому могут рассматриваться в качестве индикаторов среды минералообразования.

Отмеченные здесь закономерные ассоциации сульфoантимонитов свинца не исчерпывают всего многообразия взаимоотношений, встречающихся в природе; определено лишь главное направление в эволюции сульфoантимонитов, правильное понимание которого, в связи с расширяющимися возможностями диагностики, должно способствовать дальнейшему развитию изложенных здесь идей.

Развиваемые нами представления об общей для гидротермального процесса закономерности в эволюции природных соединений в системе $Pb-Sb-S$ были высказаны в порядке дискуссионного обсуждения в докладе, сделанном на минералогическом семинаре при Музее АН СССР (Москва) в феврале 1966 г. и не встретили тогда всеобщего одобрения.

В последние годы появились работы, подтверждающие правильность сделанных автором наблюдений и выводов. Так, в 1967 г. А.А.Филимоновой была опубликована статья "Об ассоциациях сульфoантимонитов свинца в рудах Дарасунского месторождения". В выводах статьи автор формулирует аналогичную нашей схему последовательности образования сульфoантимонитов; однако сообщаемые в статье конкретные взаимоотношения минералов (и на фотографиях и в тексте) в целом ряде случаев противоречат принимаемой схеме. Все обнаруженные на месторождении сульфoантимониты свинца (буланжерит, джемсонит, цинкенил, геокронит, семсейит и плагионит) А.А.Филимонова рассматривает как продукты одной стадии минерализации и относит их к единой парагенетической ассоциации; образование сульфoантимонитов трактуется как последовательная кристаллизация из единого раствора с постепенно (закономерно) меняющейся концентрацией компонентов в направлении возрастания роли сурьмы при одновременном понижении роли свинца. В этом случае непонятно, почему семсейит и тем более плагионит, содержание свинца в которых ниже, чем в буланжерите, образуются, согласно данным того же автора, раньше буланжерита, почему в сульфoантимонитовых образованиях появляются прожилки галенита?

Дарасунское месторождение представляет собой пример сложных природных образований, когда на пути к достижению равновесных ассоциаций на фоне основного направления процесса возникают многочисленные местные осложнения и отклонения вследствие развития реакционных явлений, явлений наложения и замещения. Очевидно, в первую очередь именно для подобных объектов следует применять предлагаемое Н.В.Петровской (1965, 1967) более дробное деление процесса минералообразования - выделение внутри стадий ступеней минеральных равновесий. Конкретизация понятия "парагенетическая минеральная ассоциация" и отнесение к этой категории минеральных сообществ действительно равновесных сочетаний минералов будут способствовать более глубокому, более строгому анализу взаимоотношений сульфосолей и, в частности, сульфoантимонитов свинца, позволяя: правильно использовать эти минералы в качестве индикаторов среды минералообразования, что явится определенным вкладом в проблему изучения условий рудоотложения.

К ВОПРОСУ О КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА И ПОЛОЖЕНИИ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ В ОБЩЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ

Кристаллохимическая природа сульфoантимонитов свинца практически не изучена¹ и различными исследователями трактуется неоднозначно, поэтому сульфoантимонитам, как и аналогичным по составу минералам мышьяка и висмута, отводятся разные места в общей классификации минералов.

В минералогической литературе в настоящее время существуют две основные тенденции в понимании сульфосолей.

1. Первая тенденция заключается в признании самостоятельности сульфосолей и их, отличной от сульфидов, природы. Сторонниками таких представлений являются А.Г.Бетехтин² (1961), А.А.Кухаренко, В.А.Франк-Каменецкий и И.И.Шафрановский (1961, 1963), Д.П.Григорьев (1965).

В виде самостоятельного класса (раздела) сульфосоли выделены и в более ранних минералогических справочниках и руководствах (Бетехтин, 1950; Минералы СССР, 1940; Дана, 1937; Болдырев, 1926; Вернадский, 1923). В этих работах, использовавших, главным образом, химический принцип в классификации минералов, сульфосоли рассматривались как сложные комплексные соединения, аналогичные кислородным солям. Проводя последовательную химическую классификацию, Дана (1937) разделял все сульфосоли по соотношению в их составе катионов и анионных радикалов на основные, орто-, промежуточные, мета- и кислые соли.

2. Признаются только сульфиды, к которым полностью приравниваются сульфосоли (Ross, 1957; Hellner, 1958; А.Поваренных, 1966, и др.). Такая интерпретация сульфосолей дается и в "Mineralogische Tabellen", Strunz (1957, 1970) и в отечественном справочнике "Минералы" (1960). В обоих справочниках термин "сульфосоли" отсутствует. Авторы отечественного справочника в классе сульфидов различают "простые" и "сложные сульфиды"; сульфoантимониты свинца, так же как и другие сульфосоли, отнесены ими к категории "сложных сульфидов" и рассредоточены среди сульфидных минералов. В таблицах Штрунца рассматриваемые минералы вместе с висмутином и антимони-

¹ Решена атомная структура только двух минералов группы - джемсонита и менегинита.

² А.Г.Бетехтин не всегда точен и последователен в употреблении терминов и это дает повод для неправильного толкования (Григорьев, 1965) его представлений.

том объединены в группе "игольчатых блесков" (так же как и аналогичные мышьяковые соединения).

Принципиальные кристаллохимические различия в структурах сульфидов и сульфосолей не усматриваются также и П.Рамдором (1962). Хотя Рамдор и описывает сульфосоли, группируя их по катионам и анионным радикалам, однако он не остается последовательным до конца и не отделяет типичные сульфиды от сульфосолей, а описывает минералы, перемежая те и другие.

Приведенный краткий обзор показывает, таким образом, существование двух, принципиально различных концепций в понимании природы сложных соединений тяжелых металлов (меди, серебра, свинца и др.) с полуметаллами (главным образом с мышьяком и сурьмой) и одновременно с серой. Подобные, в общем полярные представления, основываются, по-видимому, на том, до некоторой степени противоречивом фактическом материале, который дают минералогия химия и рентгеноструктурный анализ.

Современная неорганическая химия подтверждает известный еще со времен Берцеллиуса и Менделеева двойственный, амфотерный характер соединений сурьмы и мышьяка и склонность этих элементов к образованию комплексов, в которых сурьма и сера (мышьяк и сера) создают компактные ангидридные радикалы, обнаруживаемые в растворах. В отличие от сульфидов исходными структурными элементами в сульфосолях (или тиосолях, по химической терминологии) являются, таким образом, не отдельные атомы серы, а компактные группы, слагаемые атомами полуметаллов и серы, с новыми, характерными для этих групп свойствами.

Современный рентгеноструктурный анализ расшифровывает главным образом геометрию кристаллической структуры соединений, не разрешая вопроса о характере химических связей между серой и полуметаллами, с одной стороны, и между комплексными радикалами и катионами тяжелых металлов, с другой. При чисто геометрической интерпретации атомных структур минералов, соответствующих тиосолям, анионные радикалы не всегда выявляются с достаточной очевидностью вследствие большого разброса в межатомных расстояниях $Sb-S$ (Т.Н.Польнова и М.А.Порай-Кошиц, 1966). Подобные несоответствия между химическими данными и результатами рентгеноструктурных исследований и порождают противоречивые представления о природе сульфосолей. Вместе с тем, прочность комплекса определяется, как известно, не только геометрическим расстоянием между элементами, входящими в комплекс и вне его, но и характером химической связи, осуществляемой между элементами в структуре минерала. Природные минеральные объекты с позиций химических связей представляются недостаточно изученными, поэтому вопрос о кристаллохимической природе минералов, подобных тиосолям, до сих пор является открытым и продолжает дискуссироваться в литературе (Кухаренко, Франк-Каменский, Шафрановский, 1961, 1963; Чухров, Бонштедт-Куллетская, 1962; Бокий, Романова, Максимова, 1964).

Отсутствие необходимых кристаллохимических данных в отношении сульфосолей делает в настоящее время невозможным создание совре-

менной научной классификации этих соединений, подобной той, которая уже достигнута для силикатов. В то же время приравнивание сульфосолей к классическим сульфидным минералам и полное игнорирование их химической индивидуальности, как это сделано в таблицах Штрунца (1957) и в справочнике "Минералы" (1960), вряд ли может быть оправдано. Такой односторонний подход к этой группе минералов не способствует выявлению характерных особенностей соединений.

Что же касается сульфоантимонитов свинца, то в свете обнаруженной четкой приуроченности разных минералов группы к различным типам рудных месторождений, представляется не лишенной рационального смысла химическая классификация сульфосолей, использованная Дана (1937). Выделение среди сульфосолей (по соотношению основной и ангидридной частей) кислых, мета-, промежуточных, орто- и основных солей приводит к объединению минералов в группы по сходству химического состава. Такие группы должны отвечать (и отвечают) естественным группировкам минералов, возникающим при одинаковых физико-химических условиях в рудных месторождениях.

Значительный вклад в проблему изучения сульфосолей сделан в самые последние годы. Исследователями в различных областях знаний получены новые данные, укрепляющие позиции сторонников самостоятельности сульфосолей. Это прежде всего работы В.Новацкого и его учеников (Nowański, 1967, 1969), Ю.Такеучи и Р.Саданаги (Takeuchia, Sadanaga, 1969) по рентгеноструктурному изучению сульфосолей, выявившие различные типы радикалов и показавшие закономерности изменения структур сульфосолей в зависимости от отношения $MeS' : X_2S_3$, определяющего тип радикала; это работы Д.П.Григорьева (1965), Н.В.Белова и Е.А.Победимской (1966), в которых отражен подход к сульфосолям с позиций образования устойчивых электронных оболочек атомов; это работа В.В.Щербины (1967), в которой рассмотрены принципы сочетания катионов и анионных радикалов при образовании сульфосолей; это, наконец, работы, в которых самостоятельность радикальных комплексов в сульфосолях подтверждается новейшими прецизионными методами - путем изучения спектров ядерного квадрупольного резонанса (Пеньков и др. 1968, и др.) и эффекта Мессбауэра (Марфунин, Мкртчян, 1969). Обстоятельный обзор работ последних лет по сульфосолям с обширным списком литературы содержится в книге А.А.Годовикова (1972). Привлекая к обсуждению вновь полученные материалы, автор показывает рациональность выделения сульфосолей в самостоятельный класс минералов и рассматривает различные принципы систематики этих соединений на основе различий в комплексных радикалах и типах катионов.

В последние годы в нашей отечественной литературе наблюдаются разногласия в отношении наименования минералов группы сульфосолей свинца и сурьмы. Одни исследователи продолжают называть их термином "Сульфоантимониты", другие (Н.Н.Мозгова и др., 1968; Л.Н.Вяльсов, 1969) стали применять название "сульфоантимониды". Последний термин не согласован с принятой (правда, не во всем последовательной) химической и минералогической терминологией и поэтому не яв-

ляется более удачным, чем использовавшийся до сих пор. Термин с окончанием ды - "антимониды" в настоящее время закреплен (Минералы, т. I, 1960) за природными соединениями, в которых сурьма выполняет роль аниона, подобно тому, как в сульфидах, селенидах, теллуридах роль аниона играют сера, селен, теллур. Чтобы не возникло двусмысленных толкований терминов, вопросы упорядочения номенклатуры минералов следует решать только в целом для всей минералогической классификации, а не в отношении отдельных минералов или групп.

1. Сульфоантимониты свинца являются типоморфными образованиями определенных минеральных ассоциаций. Представляя собой соединения трех самых распространенных в рудном процессе элементов — свинца, сурьмы и серы, эти минералы могут служить очень удобными объектами для выяснения условий образования руд. Каждый индивидуальный минеральный вид отвечает узкому интервалу физико-химических условий и может рассматриваться в качестве индикатора среды минералообразования. Наиболее богатые свинцом минералы группы (геокронит, менегинит, буланжерит) характерны для существенно галенитовых месторождений и руд. Джемсонит наблюдается в минеральных ассоциациях, в которых отсутствует галенит, но есть пирит, высокожелезистый сфалерит и пирротин. Плагионит и цинкениит образуются в существенно сурьмяных месторождениях. Поэтому диагностику сульфоантимонитов следует начинать с анализа парагенетических ассоциаций.

2. Химические составы сульфоантимонитов свинца в отношении главных компонентов постоянны: изоморфные замещения элементов ограничены и имеют место преимущественно в анионном радикале (сурьма замещается на мышьяк и висмут). Значительные отклонения от формул в химических анализах, приводимых в литературе, обязаны механическим примесям.

В отношении концентрации редких элементов (таллия, индия и кадмия) сульфоантимониты свинца обнаруживают четкую специализацию. Таллий является чрезвычайно характерной и постоянной примесью в геокроните (сотые, десятые доли % и выше), иногда концентрируется в буланжерите. Индий дает повышенные концентрации практически только в джемсоните. Кадмий обнаруживает приуроченность к джемсониту.

3. Уверенное определение геокронита, менегинита, буланжерита и цинкениита до сих пор могло быть осуществлено только на основании рентгенометрических данных и результатов химических анализов.

Уточнение на образцах эталонной коллекции автора многих физических свойств минералов и вскрытие причин систематических ошибок, имевших место в минералогической практике определения сульфоантимонитов, позволило выявить индивидуальные отличия в характере агрегатов и спайности, в значениях удельных весов, в отражательной способности и твердости по микровдавливанию (см. табл. 27).

Установлено, что многие свойства, а также генетические особенности сульфоантимонитов находятся в закономерной связи с соотношением $PbS : Sb_2S_3$ в составе минералов. Эта связь легко обнаруживается

при систематизации минералов в последовательности увеличения (или уменьшения) отношения $PbS : Sb_2S_3$. В этой последовательности уменьшаются удельные веса минералов и интенсивность отражения, увеличиваются значения микротвердости.

Оценка внешних физических свойств — характера агрегатов, спайности, удельного веса, обеспечивает правильное определение макровыделений минералов уже в штуфе.

Диагностика микровыделений осуществляется с привлечением комплекса методов: исследования спектров отражения, оценки силы двуотражения, твердости по микровдавливанию, рентгенометрических определений; полезны также наблюдения двойников, которые характерны только для геокронита и джемсонита.

4. В связи с обнаруженными систематическими ошибками в определениях сульфoантимонитов свинца должны быть внесены существенные коррективы и в представления о распространенности в природе отдельных минеральных видов. До сих пор широко распространенным минералом в этой группе считался только буланжерит. Проведенные исследования показали, что широко распространенными сульфoантимонитами являются также джемсонит, геокронит, менегинит и цинкениит. Джемсонит, менегинит и геокронит характерны для полиметаллического пояса Восточного Забайкалья. Ранее в месторождениях Восточного Забайкалья джемсонит считался редким минералом, достоверных находок менегинита в этих месторождениях известно не было. В связи с выявленными ошибками в диагностике сульфoантимонитов, в рудах Восточного Забайкалья следует пересмотреть и закономерности распределения редких элементов, часто приуроченных в этом поясе именно к сульфoантимонитам свинца.

Цинкениит является типичным сульфoантимонитом существенно сурьмяных месторождений (Средняя Азия и др.).

- Агроскин Л.С., Папаян Г.В., Раутиан Л.П. Абсолютный регистрирующий микроспектрофотометр "Блеск". - Геол. рудн. месторождений, 1972, № 3.
- Андерсон Дж.С. Геохимия индия. - В книге "Геохимия редких элементов", 1959.
- Безсмертная М.С., Чвилева Т.Н. Опыт ревизии музейных коллекций рудных минералов. - Тезисы докладов; второе совещание по новым методам исследования минералов и горных пород. Изд-во МОИП, 1967.
- Безсмертная М.С., Логикова Л.А., Соболева Л.Н. Определение тел-луридов под микроскопом. Изд-во "Наука", 1969.
- Безсмертная М.С., Чвилева Т.Н., Агроскин Л.С., Бернштейн П.С., Бочек Л.И., Лебедева С.И., Логинова Л.А. Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. Изд-во "Недра", 1973.
- Белик П.Г. К минералогии Есауловского полиметаллического месторождения в Нагольном Кряже. - Записки Всес. мин. об-ва 1938, ч. 67, вып. 1.
- Белов Н.В., Победимская Е.А. Характерные особенности кристаллохимии сульфидов, сульфосолей и их аналогов. - Минер. сб. Львовского гос. университета, 1966, № 20, вып. 3.
- Бетехтин А.Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.
- Бетехтин А.Г. Курс минералогии. Изд. III, Госгеолтехиздат, 1961.
- Бови С., Тейлор К. Определитель рудных минералов. - В сб. "Геология атомного сырья". Труды второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Атомиздат, 1959.
- Бокий Г.Б. Опыт систематики структур арсенидов, сульфидов, арсеносульфидов и их аналогов. - В кн. "Кристаллические структуры арсенидов, сульфидов, арсеносульфидов и их аналогов" Новосибирск, 1964.
- Бокий Г.Б., Романова Е.М. О многогранниках в структурах сложных сульфидов арсенидов. - Кристаллография, 1961, т. 6, вып. 6.
- Бокий Г.Б., Романова Е.М., Максимова Н.В. Кристаллические структуры арсеносульфидов и их аналогов. - В сб. "Кристаллические структуры арсенидов, сульфидов, арсеносульфидов и их аналогов", Новосибирск, 1964.
- Болдырев А.К. Курс описательной минералогии. Изд-во НТО ВСНХЛ. Вып. 1, 1926.
- Боровик С.А., Прокопенко Н.М. Новые данные о распространении индия в Казахстане. - Докл. АН СССР, т. 24, № 9, 1939.
- Боровик С.А., Прокопенко Н.М., Покровская Т.Л. Распределение индия в горных породах. - Докл. АН СССР, 1939, т. 25, № 7.
- Булах А.Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. Изд-во "Недра", 1967.
- Бурэ Г.Н., Клейнбок В.Е. Прибор для измерения отражательной способности микрообъектов. - В сб. "Геофиз. аппаратура". 1965.
- Васильев В.И., Оболенский А.А. Геокронит в свинцово-цинковых рудах месторождения Тютё (Горный Алтай). - Записки Всес. мин. об-ва, 1966, № 4.
- Вахромеев С.А. Руководство по минераграфии. Иркутское книжное изд-во, 1956.

- Вейц Б.И., Покровская И.В., Болгов Г.П. Минералогия полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Изд-во АН Каз. ССР, Алма-Ата, 1957, т. 1.
- Вернадский В.И. Заметки о распространении химических элементов в земной коре. Изв. Росс. АН, 1911, серия 6, вып. 4 (о распространении индия).
- Вернадский В.И. История минералов земной коры. НХТИ, 1923, т. 1, вып. 1.
- Волюнский И.С. Определение рудных минералов под микроскопом. Госгеоллиздат, 1947, т. I—II, 1949, т. III.
- Волюнский И.С. К методике измерения оптических постоянных рудных минералов. Труды ИМГРЭ, АН СССР, 1959, вып. 3.
- Волюнский И.С. Измерение оптических постоянных рудных минералов с помощью фотометрического окуляра ОКФ-1. Изд-во АН СССР, 1963.
- Волюнский И.С. Определение рудных минералов под микроскопом. Изд-во "Недра", 1966.
- Вяльсов Л.Н. Определение осности и оптического знака рудных минералов по измерениям отражательной способности. - Геол. рудн. месторождений, 1969, № 1.
- Гирина М.В., Панов В.А., Рагузин Р.М., Чвилева Т.Н. Опыт применения инфракрасной насадки НИК-2 для диагностики сульфоантимонитов свинца. - Материалы IX совещания работников лабораторий геологических организаций. М., 1965.
- Годовиков А.А. Висмутовые сульфосоли. М., Изд-во "Наука", 1972.
- Горжевский Д.И. Находка редкого минерала цинкениита. - Минер. сб. Львовского геолог. об-ва, 1955, № 9.
- Григорьев Д.П. О соотношении и наименовании сульфидов и сульфосолей в минералогической систематике. - Изв. высших учебн. заведений, серия геология и разведка, 1965, № 4.
- Григорьев Д.П. Структурные химические формулы минералов - сульфосолей (тиосолей). - Докл. АН СССР, 1966, т. 167, № 5.
- Григорян Г.О. О некоторых закономерностях и условиях образования свинцово-сурьмяных руд. - Геохимия, 1960, № 1.
- Дана Э.С. Описательная минералогия. ОНТИ, 1937.
- Дмитриева М.З., Покровская И.В. Цинкениит. - В кн. "Минералогия полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Изд-во АН Каз. ССР, 1957.
- Дуброва И.В., Филимонова А.А. О сульфоантимонитах свинца из месторождений Северный Кантау (Средняя Азия). - Геология рудных месторождений. 1962, № 3.
- Дэна Дж.Д., Дэна Э.С., Пэлач У., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. ИЛ. 1950, т. 1, полутом 1.
- Зенков Д.А., Менегинит. В кн. "Минералы СССР." Изд-во АН СССР, 1940.
- Иванов В.В. О некоторых особенностях поведения индия в месторождениях различного возраста. - Изв. АН СССР, серия геолог., 1960, № 8.
- Иванов В.В. К геохимии кадмия в месторождениях Депутатской группы. - Геохимия, 1961, № 2.
- Иванов В.В. Новые данные по геохимии акцессорных элементов в касстери-то-сульфидных рудах. - Труды ИМГРЭ АН СССР, 1961, вып. 7.
- Иванов В.В. Закономерности распределения кадмия в рудных месторождениях. - Геохимия, 1964, № 8.
- Иванов В.В. Индий. Кадмий. Галлий. - В кн. "Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов". Изд-во "Наука", 1964, т. 1.
- Иванов В.В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. Изд-во "Недра", 1966.
- Иванов В.В., Волгин В.Ю. Новые данные о природных концентрациях индия. - Докл. АН СССР, 1960, т. 130, № 2.

- Иванов Л.Л. Два новых для рудных жил Нагольного Кряжа минерала — плюмбобстит и джемсонит. — В сб. "Академику В.И.Вернадскому". Изд-во АН СССР, 1936.
- Иванова А.А. О черном гипсе Дарасунского месторождения (Восточное Забайкалье). — Записки Всес. мин. об-ва, 1962, ч. 91, вып. 4.
- Керимов Г.И., Мусейбов К.И. Менегинит и гудмундит в рудах Филзчайского медно-полиметаллического месторождения. — Записки Всес. мин. об-ва, 1968, ч. 97, вып. 6.
- Костов И.К. К вопросу об изоморфизме среди минералов сульфосолей. — Записки Всес. мин. об-ва, серия 2, ч. 36, вып. 3.
- Кузнецов К.Ф. Геокронит в рудах Екатерино-Благодатского месторождения. — Докл. АН СССР, 1957, т. 114, № 4.
- Кузнецов К.Ф. Редкие элементы в рудах некоторых полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы. — Труды ИМГРЭ АН СССР, 1959, вып. 2.
- Кузнецов К.Ф. Екатерино-Благодатское месторождение. — В кн. "Свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья". Труды ИМГРЭ АН СССР, 1963, вып. 8.
- Кузнецов К.Ф. Индий в сульфантимонитах свинца. — Труды ИМГРЭ АН СССР, 1963, вып. 10.
- Кузнецов К.Ф. Редкие элементы в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья. — Труды ИМГРЭ, Изд-во "Наука", 1965.
- Кузнецов К.Ф., Мейтув Г.М. Геохимия редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья. Изд-во "Наука", 1967.
- Кузнецов К.Ф., Мейтув Г.М., Читаева Н.А., Лизунов Н.В. Закономерности распределения редких элементов в полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья. — Труды ИМГРЭ АН СССР, 1959, вып. 3.
- Куплетская Э.М. Определение удельного веса минералов. Изд-во АН СССР, 1951.
- Кухаренко А.А., Франк-Каменецкий В.А., Шафрановский И.И. Минералы, т. 1, рецензия. — Записки Всес. мин. об-ва, 1961, ч. 90, вып. 5.
- Кухаренко А.А., Франк-Каменецкий В.А., Шафрановский И.И. Еще раз о справочнике "Минералы". — Записки Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 1.
- Лазаренко Е.К. Курс минералогии. Изд-во "Высшая школа", 1963.
- Лазаренко Е.К. Курс минералогии. Изд-во "Высшая школа", 1971.
- Лебедева С.И. Определение микротвердости минералов. Изд-во АН СССР, 1963.
- Марфуни А.С., Мкртчян А.Р. Мессбауэровские спектры Fe^{57} в сульфидных минералах — Геохимия, 1967, № 10.
- Минералы СССР. Изд-во АН СССР, т. 1, 1940.
- Минералы, Справочник, т. 1, изд-во АН СССР, 1960.
- Митряева Н.М. Геокронит в рудах месторождения Узунжал в Центральном Казахстане. — Изв. АН Каз. ССР, серия геол., 1961, вып. 4/45.
- Митряева Н.М., Муратова Д.Н. Об иорданите в рудах месторождения Бестюбе (Центральный Казахстан). — Труды ИГН АН Каз. ССР, 1963, т. 7.
- Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Нестерова Ю.С., Арапова Г.А. О новой находке цинкениита в Средней Азии. — Докл. АН СССР, 1966, т. 166, № 6.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Нестерова Ю.С., Арапова Г.А. О новой находке менегинита в Восточном Забайкалье. — Докл. АН СССР, 1966, т. 170, № 6.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Сендерова В.М. О новой находке гетероморфита. — Докл. АН СССР, 1967, т. 173, № 6.

- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Ракчеев А.Д., Боришанская С.С. К диагностике сульфoантимонидов свинца. - Геол. рудн. месторожд., 1968, т. 10, № 2.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Сендерова В.М., Ронами Г.Н., Яковлевская Т.А. О находке гетероморфита в коллекции Минералогического музея АН СССР. - Труды Мин. музея АН СССР, 1971, вып. 20.
- Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С. Гомологический ряд семсейита-фюлёрпита. - Записки Всес. мин. об-ва, 1972, т. 101, № 3.
- Пеньков И.Н., Сафин И.А., Ядерный квадрупольный резонанс ядер $Sb^{+21, 123}$ в стефаните, Ag_5SbS_4 - Докл. АН СССР, 1966, т. 170, № 3.
- Петровская Н.В. О систематике минеральных ассоциаций, возникающих при гидротермальном образовании. - Геол. рудн. месторожд., 1965, № 1.
- Петровская Н.В. О понятии "парагенетическая минеральная ассоциация". - Геол. рудн. месторожд., 1967, № 2.
- Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Изд-во АН Укр. ССР, Киев, 1966.
- Польнова Т.Н., Порай-Кошиц М.А. Стереохимия соединений трехвалентной сурьмы. - Структурная химия, 1966, т. 7, № 1.
- Полякова О.П. Геокронит из Смирновского месторождения (Восточное Забайкалье). - Труды Мин. музея АН СССР, 1957, вып. 8.
- Прокопенко Н.М. Поисковые признаки на индий; распространение индия в различных металлогенетических циклах СССР; основные этапы истории индия в земной коре. - Докл. АН СССР, 1941, т. 31, № 1, 9.
- Пудовкина И.А., Якубович А.Л., Ширявцев А.А. Прибор для определения микротвердости и коэффициента отражения минералов (ПМТКО-1). - Минеральное сырье, вып. 3. Госгеолтехиздат, 1961.
- Ракчеев А.Д. К методике получения эталонных значений отражательной способности рудных минералов. - Геол. рудн. месторожд. 1964, № 1.
- Рамдор П. Рудные минералы и их срastания. ИЛ, 1962.
- Робинсон С.К. Синтез сульфoантимонитов свинца. - В сб. "Вопросы физикохимии в минералогии и петрографии", ИЛ, 1950.
- Сагателян Э.А. О рентгенометрическом исследовании сульфoантимонитов Азатекского месторождения Армянской ССР. - Научные труды Ереванского гос. ун-та, серия геол. наук, 1957, вып. 3.
- Сагателян Э.А. Минералогия свинцово-сурьмяных руд Азатекского месторождения Армянской ССР. Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1961.
- Сазонов В.Д. Цинкениит с Зиддинского мышьякового месторождения (Гиссарский хребет). Изд-во АН Тадж. ССР, отд. геол. - мин. и тех. наук, 1960, № 1 (2).
- Сахарова М.С. Основные вопросы изоморфизма и генезиса блеклых руд. - Геол. рудн. месторожд., 1966, № 1.
- Сахарова М.С. О зависимости химического состава блеклых руд от условий рудообразования. - В сб. "Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов" Изд-во "Наука", 1966.
- Смирнов С.С. Некоторые данные о Нерчинских свинцово-цинковых месторождениях и предположения о разведках. - Изв. Геол. кома, 1925, т. 44, № 1.
- Смирнов С.С. Сульфoантимонит свинца, близкий к иорданиту с Андреевского рудника на Южном Урале. - Записки Всес. мин. об-ва, 1925, ч. 54, вып. 1.
- Смирнов С.С. Андреевский свинцово-цинковый рудник в Кочкарском золоторудном районе. - Изв. Геол.-Кома, 1927, т. 45, № 8.
- Смирнов С.С. Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья. - Труды Геол.-разв. объединения, 1934.
- Смирнов С.С. К минералогии некоторых полиметаллических руд Забайкалья - Избранные труды, Изд-во АН СССР, 1955.

- Соболев В.В., Залевский Б.К., Воробьев В.Г., Попов Ю.В., Лерман И.Н. Спектры отражения некоторых минералов. — Исследования по полупроводникам. Изд-во АН Молд. ССР, Институт прикладной физики, Кишинев, 1968.
- Твалчрелидзе Т.А. Типы сурьмяных руд Чвешурской группы месторождений. В сб. Кавказского ин-та мин. сырья. Госгеолтехиздат, 1959, вып. 2.
- Тимофеевский Д.А. Геохронит и шульцит в рудах месторождения Усть-Теремки Восточного Забайкалья. — Записки Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 97, № 4.
- Тубо Г. Изучение неерозрачных рудных минералов в ближнем инфракрасном свете. — В сб. "Физика минералов", перев. с англ., нем., франц. Изд-во "Мир", 1964.
- Ферсман А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. Изд-во АН СССР, 1939.
- Филимонова А.А. Парагенетические ассоциации сульфоантимонитов свинца в рудах Дарасунского месторождения. — Геол. рудн. месторожд., 1967, т. 9, вып. 2.
- Чвилёва Т.Н. О цинкениите Терекского месторождения. В сб. "Экспериментально-методические исследования рудных минералов". Изд-во "Наука", 1965.
- Чвилёва Т.Н. К находке цинкениита в месторождении Гурдара. — Труды Мин. музея АН СССР, изд-во "Наука", 1966.
- Чвилёва Т.Н. Значение внешних физических свойств для диагностики буланжерита и джемсонита. — В сб. "Физические свойства редкометаллических минералов и методы их исследования". Изд-во "Наука", 1968.
- Чвилёва Т.Н. Сульфоантимониты свинца в процессе рудообразования. — Записки Всес. мин. об-ва, 1969, ч. 98, вып. 3.
- Чвилёва Т.Н. К истории открытия и изучения менегинита. — В сб. "Исследования в области рудной минералогии". Изд-во "Наука", 1973.
- Чвилёва Т.Н., Новороссова Л.Е. О висмутсодержащем буланжерите. — В сб. "Экспериментально-методические исследования рудных минералов". Изд-во "Наука", 1965.
- Чухров Ф.В., Бонштедт-Куплетская Э.М. По поводу рецензии А.А.Кухаренко, И.И.Шафрановского, В.А.Франк-Каменецкого. — Записки Всес. мин. об-ва, 1962, ч. 91, вып. 4.
- Шаронов В.В. Свет и цвет. Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961.
- Шорт М.Н. Микроскопическое определение рудных минералов. Гос. научно-техн. горно-геол. нефтяное изд-во. М., 1934.
- Штрунц Х. Минералогические таблицы. Госгортехиздат, 1962.
- Шербина В.В. Химия процессов минералообразования в осадочных породах. — В кн. "Вопросы минералогии осадочных образований". Изд. Львовского ун-та, 1956, кн. 3, 4.
- Шербина В.В. Принципы сочетания катионов и анионов при образовании сульфидов солей. — Геохимия, 1967, № 11.
- Юшко С.А. Минералогические ассоциации и последовательность кристаллизации в рудных месторождениях Нагольного Кряжа (Донецкий бассейн). — Труды МГРП. 1948, вып. 23.
- Юшко С.А. Методы изучения руд под микроскопом в отраженном свете. Госгеолгиздат, 1949.
- Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд. Изд-во "Недра" 1966.
- Якжин А.А. Геологическое строение и некоторые вопросы минерализации Нагольного Кряжа. — Труды ИГН АН СССР, 1952, вып. 65.
- Ян-Фэн-Цзюнь. Онтогенез минералов Дарасунского месторождения на примере некоторых жил. Автореф. канд. диссертации, 1962.

- Antonovici S., Borcea M. Contributul la studiul semeyitului de la Baia-Mare. "Dări seamă şedint" - Inst. geol. Miner. petrol. geochim. 1968-1969, V, 56.
- Antonovici S. Contributul la studiul boulangeritului de la Baia-Mare "Dări seamă sedint." - Inst. geol. Miner. petrol. geochim. , 1969-1970, v. 57.
- D' Achiardi G. Geocronite di Val di Castello presso Piaetra - santa.-Att. Soc. Toscana, 1901, Mem, 18. Bechi. Meneghinite, Amer. J.Sci., 1852, 14, 60.
- Berry L. G. Jamesenite from Cornwall and Bolivia.-Miner. Mag., 1940, v. 25.
- Berry L. G. Studies of mineral sulpho-salts: III. Boulangerite and "epi-boulangerite". - Univ. Toronto Stud., Geol. ser., 1940, v. 44.
- Berry L. G., Moddle D. A. Studies of mineral sulpho-salts: V. Meneghinite from Ontario and Tuscany. - Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., 1941, v. 46.
- Berry L. G., Thompson R. M. X-ray powder data for ore minerals; the Peacock's atlas. - Geol. Soc. America, N. Y. 1962.
- Borcea M., Antonovici S. Contributul la studiul fülöppitului de la Baia-Mare. - Dări sea sedint. - Inst. geol. Miner. petrol. geochim. 1968-1969 (1970), v. 56.
- Born L., Hellner E. A structural proposal for boulangerite. - Amer. Miner. 1960, v. 45, N 11-12.
- Bowie S. N. U., Henry N. F. M. Quantitative measurements with the reflecting polarising microscop. - Bull. Inst. Miner. Metall. 1964, v. 689.
- Breithaupt A. Bestimmung rweier neuen Glanze aus Siberien.- J. prakt. Chem., 1837, Bd. 10.
- Brewer F., Baker E. Arc spectrographic determination of indium in minerals and the association of indium with tin and silver. - J. Chem. Soc., 1936, N 9.
- Burkart-Baumann I., Ottemann Z., Amstutz: Neue Beobachtungen an den röntgenamorphon Sulfiden von Cerro de Pasco, Peru-Neues. - J. Miner. Monatsh., 1966, H. 12.
- Burkart-Baumann I., Ottemann Z., Nicolini P. Mineralogische Untersuchungen an Iordanit, Semseyit und Cesarolith von drei tunesischen Bleizink-Lagerstätten.-Chem. Erde, 1967, Bd. 26, H 4.
- Burnol I. L., Picot P., Pierrot R. La ménéghinite des gisements de Saki et de Gouskhalar (Iran). - Bull. Soc. franç minér. et cristallogr., 1965, v. 88, N 2.
- Boulanger H. C. Zerlegung eines Schwefel-Antimon-Blei-Ann.-Physik und Chemie, 1935, Bd. 36.
- Cameron E. N. Ore microscopy. N.Y.-London, 1961.
- Cameron E. N., Green L. H. Polarization figures and rotation Properties in reflected light and their application to the identification of ore minerals. - Econ. Geol., 1950, v. 45.
- Carpenter R. H., Cameron E. N. Additional measurements of rotation properties of ore minerals.-Econ. Geol., 1963, v. 58, N 8.
- Cissarz A. Reflexionsmessungen an absorbierenden Kristallen.- Kristallogr., 1932, Bd. 82.
- Clark A. H. Zinkenit aus Antimonlagerstätten von Turhol. - Turkey - Trans. Inst. Mining and Metallurgy, Sec. B, 1967, v. 76.
- Clark A. H. Note on zinckenite from Turhal antimony deposit Turkey. Trans. Inst. Mining and Metallurgy, 1967, Sec. B, v. 79.
- Dolter C. Handbuch der Mineralchemie. Bd. 1-9. Dresden - Leipzig, 1912-1931.

- Douglass R. M., Murphy M. J., Pabst A. Geocronite.-Amer. Miner. 1954, v. 39, N 11-12.
- Euler R., Hellner E. Über komplex Zusammengesetzte sulfidische Erze VI Zur Kristallstruktur des Meneginites Cu Pb Sb₇S₂₄ - Kristallogr., 1960, Bd. 113.
- Finaly V., Koch S. Fülloppite, a new Hungarian mineral of the pligionite - semseyite group. - Miner. Mag., 1929, v. 22.
- Folinsbee R. E. Determination of reflectivity of the ore minerals. - Econ. Geol., 1949, v. 44.
- Fredriksson K., Andersen C. A. Electron probe analyses of copper in meneginite. - Amer. Miner., 1964, N 9-10.
- Frenzel A. Über die Zusammensetzung des Plumbostib und Embriithit. - J. prakt. Chem., 1870, N 110.
- Goldschmidt V. N. Geochemistry. Oxford, 1954.
- Gray Y. M., Millman A. P. Reflection characteristics of ore minerals. - Econ. Geol., 1962, v. 57, N 3. (Русский перевод опубликован в сб. "Новое в зарубежных исследованиях по рудной микроскопии". Изд. ИМГРЭ, 1966).
- Gray Y. M., Millman A. P. Reflection characteristics of ore minerals.-Econ. Geol., 1964, v. 59, N 7. (Русский перевод опубликован в сб. "Новое в зарубежных исследованиях по рудной микроскопии" Изд. ИМГРЭ, 1966).
- Groth P. Tabellarische Übersicht der Mineralien. 1898 4 Aufl.
- Groth P., Mieleitner K. Mineralogische Tabellen, 1921.
- Guillerman C. Beiträge zur Kenntniss natürlichen sulfosalz.-Kristallogr. und Miner., 1900, Bd. 33, H 75.
- Hak J. Vyskyt jamesonitu, berthieritu a ryziho zlata na antimonitových loziscich (Nizke Tatry). - Věst. Ustréd. ustavu geol. 1958, v. 33, N 4.
- Hak J., Zinkenit a jeho paragenese u Husarky v Nizkych Tatrach. - Casop. miner. a geol., 1958, v 3, N 4.
- Haranczyk C. Tallium jordanite. - Bull. Acad. polon. sci. Sér. sci. géol. et géogr., 1958, v. 6, N 3.
- Harcourt G. A. Tables for the identification of ore minerals by X₂-ray patterns.-Amer. Miner., 1942, v. 27.
- Harris D. C. Zinckenite. - Canad. miner., 1965, v. 8, pt. 3.
- Harris D. C., Jambor J. L., Lachance G. R., Thorpe R. I. Tintinaite tje antimony analogue of kobellite.-Canad. Miner. 1968, v. 9, pt. 3.
- Hausmann J. F. L. Ueber den sogenannten Boulangerit. - Ann. Phys. und Chem., 1839, Ser. 2, Bd 16.
- Hellner E. A. Structural Scheme for Sulfide minerals. - J. Geol.; 1958, v. 66, pt. 5.
- Hiller J. E. Röntgenographische Bestimmungsmethoden und Untersuchung der Bleispielglanze. - Kristallogr. und Miner., 1939, Bd. 100.
- Hintze C. Handbuch der Mineralogie. Bd I Abt. I Leipzig, 1904.
- Hobson D. M. Boulangerite from Portgaverne, north Cornwall. - Miner. Mag., 1972, v. 38, N 298.
- Jambor J. L. New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario Mineral. Descriptions. - Canad. Miner., 1967, v. 9, pt. 2,3.
- Jambor J. L. New lead sulfoantimonides from Madoc, Ontario. Synthesis paragenesis origin. - Canad. Miner., 1968, v. 9, pt. 3, 4.
- Jambor J. L. Salphosalts of the pligionite group. - Miner. Mag., 1969, v. 37, N 288.
- Jambor J. L. Dadsonite (minerals Q and QM), a new lead sulphantimonide. - Miner. Mag., 1969, v. 37, N 288.
- Jambor J. L., Lachance G. R. Wismuthaltiger Robinsonit. - Canad. Miner., 1968, v. 9, N 3.

- Kerndt T. Über die Kristallform und die chemische Zusammensetzung des Geokronite von Val die Castello in Toscana. - Ann. Physik, 1845, Bd. 65.
- Kingsbury A.W. Tellurbismuth and meneghinite two minerals new to Britain. - Miner. Mag., 1965, v. 35.
- Koch S. Data on some rare sulpho-salts. - Acta miner and petrogr., Szeged, 1957, v. 10.
- Koch S., Grasselly Y., Padera K. Contribution to the jamesonite problem. - Acta miner. and petrogr. Szeged., 1960, v. 13.
- López-Soler A., Bosch-Figueroa J.M. Determinación y cálculo de las constantes ópticas en un cristal opaco uniaxial: zinkenita - Acta geol.hisp., 1971, v. 6, N 3.
- Machatkhi F. Spezielle Mineralogie auf Geochemischer Grundlage. Wien. 1953.
- Matherly M. Jamesonit z Dibřavy. - Geol. sbor., 1956, sv. 7, N N 3-4.
- Niizeki N., Buerger M.J. The crystal structure of jamesonite, $\text{FePb}_2\text{Sb}_2\text{S}_{14}$. - Kristallogr., 1957, Bd. 109, N 3.
- Nowacki W. Zur Klassifikation und Kristallchemie der Sulfosalze - Schweiz. mineral und petrogr. Mitt, 1969, 49, N 1.
- Nuffield E. W. Studies of mineral sulpho-salts: XII. Fulopite and zinkenite. - Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., 1946, v. 50.
- Nuffield E. W., Peacock M. A. Studies of mineral sulpho-salts: VIII. Plagionite and semseyite. - Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., 1945, v. 49.
- Orcel J. La mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques à l'aide de la cellule photoélectrique et ses applications. - Bull. Soc. franç. Minér. et cristallogr., 1930, v. 53, N 1-6. (Русский перевод опубликован в сб. "Методические работы по микроскопическому исследованию руд в отраженном свете", М. 1936).
- Palache C., Richmond W. E., Winchell H. Crystallographic studies of the sulpho-salts: baumhauerite, meneghinite, jordanite, dieaphozite, freieslebenite. - Amer. Miner., 1938, v. 23.
- Palache C., Berman H. Boulangerite. - Amer., 1942, 27, N 8.
- Phillips F. C. Some relationships between the reflectivities of sulphide ore-minerals. - Miner. Mag., 1934, v. 23.
- Pisani M. F. Sur un sulfo-antimobiure de plomb trouvé à Arnsberg (Westphale) - Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de L'Académie des sciences, 1876, v. 83.
- Ramdohr P. Remarks on quantitative measurements of reflectivity. - Econ. Geol., 1964, v. 59.
- Rammelsberg C. F. Mineral analysen. - Ann. der Physik und Chemie. 1846, Bd. 68, 509. Leipzig.
- Rammelsberg C. F. Handbuch der Mineralchemie. Leipzig, 1875.
- Rensburg W. C. J., Cameron E. N. Additional data on rotation properties of ore minerals. II. - Econ. Geol., 1965, v. 60, N 8.
- Robertson F. The Kentron microhardness tester a quantitative tool in opaque mineral identification. - Econ. Geol., 1951, v. 46, N 5.
- Robinson S. C. Studies of mineral sulpho-salts: XIV. Artificial sulphantimonites of lead. - Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., 1948, v. 52.
- Robinson S. C. The identity of falkmanite and yenerite with boulangerite. - Amer. Miner., 1948, v. 33.
- Robinson S. C. Synthesis of lead sulphoantimonites. - Econ. Geol., 1948, v. 43, N 4.
- Rose G. Plagionite. Ann. Phys., 1833, 28, 421.
- Ross V. Geochemistry, crystal structure and mineralogy of the sulfides - Econ. Geol., 1957, 52, N 7.

- Sauvage M. Sur und sulfure double d'antimoine et de la plomb de Méredo, province de Galice (Espagne). - Ann. Miner., 1840, ser. 3, v. 17.
- Seki-Toshikaru. Jamesonite from Chichibu Mine, Saitama Prefecture. - Japan. Assoc. Miner., Petrol. and Econ. Geologists, 1960, v. 44, N 1.
- Seung-Am Cho, Wuensch B. J. Crystal Chemistry of the plagiogonite group. - Nature, 1970, v. 225, N 5231.
- Shannon F. V. Proceedings of the United National Museum. Washington 1920, v. 58.
- Shannon E. V., Short M. H. - Amer. Miner., 1927, v. 12, N 11.
- Shaw D. M. The geochemistry of indium. - Geochim. et cosmochim. acta, 1952, v. 2, N 3.
- Sjögren H. Om Boulangeritens Kristallform och Kemiska Sammansättning. - Geol. Förhandl., 1897, N 178, Bd. 19, H. 3. Stockholm.
- Sobotka Jiří. Zinckenit PbS, Sb₂S₃ prvý zaručený výskyt v ČSR. - Časop. miner a geol., 1957, č. 1.
- Sobotka Jiří. Příspěvky k mineralogii krasnohorského-měšovské rудní oblasti. - CSAV, MPV, 1958, v. 68, N 2.
- Spenser L. J. Plagiogonite, heteromorphite and semseyite as members of a natural group of minerals. - Miner. Mag., 1899, v. 12.
- Spenser L. J. Notes on some Bolivian minerals. - Miner. Mag., 1907, v. 14.
- Stelzner A. Jamesonite. Tscherm. Min. Petr. Mitt. 1873.
- Strunz H. Mineralogische Tabellen. Leipzig, 1957, 1970.
- Svanberg L. F. Översikning af geokronit och hydrofit, tvenne inom Sverige. 1841.
- Sztrokay K. J., Baliy K. Reflexionsmessungen und theoretische Wertbestimmung an opaken Erzmineralien. - Acta geol. acad. sci. hung., 1953, v. 2, N 1-2.
- Takeuchi Y., Sadanaga P. Structural principles and classification of sulfosalts. - Z. Kristallogr., 1969, 130, N 4-6.
- Thaulow M. C. J. Analyse eines Antimonerzes vom Nasafeld in Lapland. - Ann. Physik, 1837, N 41.
- Toubéau P. G. Mesure de la microdureté Vickers des minéraux opaques et son intérêt en minéralogie. - Bull. Soc. belge. géol. paléontol. et hydrol., 1962, v. 71. (Русский перевод опубликован в сб. "Новое в зарубежных исследованиях по рудной микроскопии". Изд. ИМГРЭ, М., 1966).
- Uytendogaardt W.; Burke E. A. J. Tables for microscopic identification of ore minerals. - Amsterdam, London, N. Y. 1971.
- Vrábka F. Semseyit z Bohutina u Příbrami (dul Stefánik). Rozpr. CSAV. Rada MPV, 1954, v. 64, N 7.
- Warren H. V. Ore minerals from Western Canada. - Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., 1947, N 52.
- Warren H. V., Thompson R. M. Antimony minerals from British Columbia, and Yukon Territory: boulangerite, chalcostibite, jamesonite, zinckenite. - Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., 1944, v. 49.
- X-Ray Powder Data File. (ASTM). Philadelphia, 1961.
- Young B. B., Millman A. P. Ore minerals microhardness and deformation characteristics. - Bull. Inst. Mining and Metallurgy, 1964, N 689. (Русский перевод опубликован в сб. "Новое в зарубежных исследованиях по рудной минералогии". Изд. ИМГРЭ, 1966).
- Zambonini F. Contributi allo studio dei solfosali naturali. II. gruppo Plagiogonite. - Rev. miner. e. crist. ital., 1912, v. 41.
- Zincken C., Rammelsberg C. Beiträge zur Kenntnis von Mineralien des Harzes. - Ann. Phys. und Chem., 1849, Bd. 77.

ПРИЛОЖЕНИЕ

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				

Компо- ненты	Геокронит					Мене-		
	1 (теор.сост.)	2	3	4	5 (теор.сост.)	6	7	8
Pb	69,62	66,12	69,77	67,08	61,51	61,28	61,28	61,41
Cu		Следы		0,03	1,45	1,20	1,24	1,15
Zn								
Fe		0,51	0,04	0,26		0,07	0,26	0,47
Mn								
As	5,05*	6,75	10,37	3,97				
Sb	8,07	7,17	2,19	9,98	19,46	18,66	19,70	19,62
Bi		1,58		1,55				
Sn								
Ag		0,12	0,04	0,16		0,19	0,005	0,012
S	17,26	17,39	17,34	17,03	17,58	17,33	16,87	17,12
CaO								
MgO								
H.o.		0,59	0,12	0,10		0,38	0,38	0,36
Сумма	100,00	100,23	99,87	100,16	100,00	99,71	99,73	100,14
Уд. вес**		6,4	6,34	6,52		6,37	6,31	6,35

Компо- ненты	Джемсонит						Плаги
	17 (теор. сост.)	18	19	20	21	22	23 (теор. сост.)
Pb	40,15	40,35	39,69	39,96	39,03	40,46	40,55
Cu			0,09	0,06	0,23	0,19	
Zn							
Fe	2,71	2,68	2,60	2,56	2,63	2,61	
Mn				0,11			
As							
Sb	35,39	33,39	34,87	34,78	35,51	33,37	38,12
Bi			0,07		0,24		
Sn						0,11	
Ag			0,02		0,04		
S	21,75	21,86	21,68	21,68	21,83	21,56	21,33
CaO		0,56	0,43		0,20	0,83	
MgO		0,02					
H.o.		0,94	0,49	0,63	0,38	0,76	
	100,00	99,80	99,84	99,78	100,09	99,89	100,00
		5,63	5,60	5,63	5,62	5,60	

2 - Алайский хребет, Средняя Азия; 3 - Жила Зеленая, Кочкарское (Урал); 4 - Сала, Швеция, (обр. 144/1, Горный музей); 6,7 - Боттино, Италия (6-обр. 152/1, Горный музей, 7 - обр. 47977, музей АН) 8,9 - Восточное Забайкалье (8 - Алгачи, обр. 136/12, Горный музей; 9 - Нерчинский округ, обр. 33019, музей АН); 11,12 - Тамдыкол (Южная Фергана); 13,14 - Алайский хребет; 15 - Нагайский Кряж; 16 - Тоскана, Италия (обр. 19438, музей АН); 18-20 - Восточ-

* При отношении $Sb:As = 1:1$.

**Выполнялся методом гидростатического взвешивания в спирте; 8 и 24 -

гипит	Буланжерит						
	10 (теор.сост.)	11	12	13	14	15	16
61,65	55,23	55,24	55,03	55,20	55,12	55,20	55,24
1,15		0,01		0,08	0,06	0,20	0,02
		0,10		0,56	0,20		
0,12		0,22	0,24		0,20	0,12	0,45
		0,52	1,04	0,72	0,83		
19,86	25,07	25,00	24,57	20,70	20,33	24,74	24,81
				4,59	4,42		
0,003		0,04		0,04		0,03	0,03
17,15	18,80	18,21	18,62	18,23	18,70	18,86	19,03
		0,33	0,35	0,23	0,07		
0,29		0,29	0,30	0,09	0,19	0,61	0,20
100,16	100,00	99,96	100,15	100,44	100,12	99,85	99,78
6,47		6,13	6,10	6,08	6,02	6,16	

Таблица I (окончание)

онит	Шинкениит					
	25 (теор.сост.)	26	27	28	29	30
40,20	35,79	34,15	34,67	33,97	34,02	33,91
0,05		0,38	0,43	0,34	0,22	0,59
0,22		0,21	0,05	0,05	0,11	0,14
37,80	42,06	41,85	41,84	42,65	42,57	42,24
					0,05	0,06
0,002		21,95	21,86	22,48	22,76	22,19
21,22	22,15	0,09	0,13			
		0,21	0,27	0,22		
0,46		0,60	0,71	0,35	0,24	0,83
99,95	100,00	99,50	99,96	100,06	99,97	99,96
5,48		5,30	5,30	5,31	5,35	5,30

ное Забайкалье (18 - Центральное, 19 - Савинское № 5, 20 - Спасское); 21 - Кутна Гора, Чехословакия (обр. Хака); 22 - Таочан, Китай; 24 - Вольфсберг, ФРГ, обр. 58115, музей АИ; 26,27 - Терекское (Средняя Азия); 28,29 - Вольфсберг, обр. из музея АИ; 28 - обр. 47711, 29 - обр. 47714; 30 - Гурдара, Таджикистан, обр. 59214, музей АИ. Анализы 11,13 и 18 выполнены А.И.Покровской (ИГЕМ), все остальные - Л.Е.Новороссовой (ИМГРЭ).

аналитик В.С.Амелина (ИГЕМ), все остальные образцы - аналитик Г.Г.Прохорова (ИМГРЭ).

Компо- ненты	Теор. состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 ⁺)	11 ⁺)	12 ⁺)
Cu					0,03	0,01	0,05	1,38	1,60	0,34			0,03
Fe					0,15	0,02	0,03	1,02		0,16	0,51	0,04	0,26
Mn								0,72					
Zn					0,41			0,59		0,25			
Ag								0,05		0,16	0,12	0,04	0,16
Sn						0,08	0,03	0,40					
Tl												0,122	0,145
Pb	69,62	70,02	68,49	67,52	68,95	73,61	74,30	63,31	64,89	68,00	66,12	69,77	67,08
As	5,05	4,47	4,59	3,65	1,93	3,71	3,63	3,90		6,60	6,75	10,37	3,97
Sb	8,07	7,78	9,13	11,48	11,08	7,04	6,13	8,61	16,00	4,95	7,17	2,19	9,98
Bi											1,58		1,55
S	17,26	17,57	17,20	17,45	17,34	15,08	13,24	18,60	16,90	17,50	17,39	17,34	17,03
H.о.								1,34		?	0,59	0,12	0,10
Сумма	100,00	99,84	99,41	100,10	99,89	99,55	99,41	99,92	99,39	97,96	100,23	99,99	100,30
Уд. вес.	-	-	6,45	6,46	-	6,4	6,4		6,43	6,21	6,4	6,34	6,5

1 - Пьетрасанта, анал. Дакиарди (D' Achiardi, 1901); 2 - Кильбрикен, анал. Прайор (Prior, 1902); 3 - Сильвер-Кинг, анал. Клемен (Douglass и др., 1954); 4 - Смирновское, анал. Ю.С.Нестерова (Полякова, 1957); 5-7 - Екатерино-Благодатское, 5 и 6 - анал. Р.М.Константинов (Кузнецов, Вольфсон, 1957); 7 - анал. К.Н.Исаева (материалы К.Ф.Кузнецова); 8 - Мередо (Sauvage, 1840); 9 - Узунжал, анал. Р.И.Зайцева (Митряева, 1961); 10⁺ - 12⁺ - материалы автора, анал. Л.Е.Новороссова; 10 - Алайский хребет, 11 - Кочкарь, Жила Зеленая (обр. В.И.Степанова); 12 - Сала, Швеция (обр. 144/1, Горный музей).

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные коли- чества	Отношение атомных количеств		Примечание			
		факти- ческий	приведен. к 100%		1	2				
1	2	3	4	5	6	7	8			
1	Pb	70,02	70,13	338,45	}	5,47	32,81			
	As	4,47	4,48	59,81		2	12			
	Sb	7,78	7,79	63,98						
	S	17,57	17,60	548,87		8,87	53,21			
	Сумма	99,84	100,00							
2	Pb	68,49	68,90	332,51	}	4,85	29,11			
	As	4,59	4,62	61,67		2	12			
	Sb	9,13	9,18	75,39						
	S	17,20	17,30	539,51		7,87	47,24			
	Сумма	99,41	100,00							
3	Pb	67,52	67,45	325,52	}	4,56	27,33			
	As	3,65	3,65	48,73		2	12			
	Sb	11,48	11,47	94,20						
	S	17,45	17,43	543,57		7,61	45,64			
	Сумма	100,10	100,00							
4	Cu	0,03	0,03	0,472	}	5,70	34,20	Железо и цинк пере- считывались соответст- венно на пи- рит и сфале- рит, медь - на халько- пирит		
	Fe	0,15	0,15	2,686						
	Zn	0,41	0,41	6,271						
	Pb	68,95	69,03	333,140						
	As	1,93	1,93	25,764					2	12
	Sb	11,08	11,09	91,081						
	S	17,34	17,36	541,383					9,07	54,42
Сумма	99,89	100,00								
5	Cu	0,01	0,01	0,157	}	6,63	2			
	Fe	0,02	0,02	0,358						
	Sn	0,08	0,08	0,674						
	Pb	73,61	73,94	356,836						
	As	3,71	3,73	49,793						
	Sb	7,04	7,07	58,065						
	S	15,08	15,15	472,463					8,74	
Сумма	99,55	100,00								
6	Cu	0,05	0,05	0,787	}	6,24	2	Медь и же- лезо пере- считаны на блеклую ру- ду и пирит		
	Fe	0,03	0,03	0,537						
	Sn	0,03	0,03	0,253						
	Pb	74,30	74,74	360,697						
	As	3,63	3,65	48,726						
	Sb	8,13	8,18	67,181						
	S	13,24	13,32	415,388					7,18	
Сумма	99,41	100,00								

¹ При пересчетах химических анализов сульфоантимонитов свинца использовались значения атомных весов элементов, приведенные в работе А.Г.Булаха (1967).

Таблица III (окончание)

Анализы	Компоненты	Химический анализ, вес. %		Атомные количества	Отношение атомных количеств		Примечание
		фактический	приведен, к 100 %		1	2	
7	Cu	1,38	1,40	22,033			Медь, цинк и железо пересчитаны соответственно на блеклую руду, сфалерит и лирит
	Zn	0,59	0,60	9,177			
	Fe	1,02	1,03	18,442			
	Mn	0,72	0,73	13,290			
	Ag	0,05	0,05	0,463			
	Sn	0,4	0,40	3,370			
	Pb	63,31	64,22	309,927	5,29		
	As	3,90	3,96	52,863	2		
	Sb	8,61	8,74	71,781			
	S	18,60	18,87	588,474	9,33		
	H.o.	1,34					
	Сумма	99,92	100,00				
8	Cu	1,60	1,61	25,338			Медь условно пересчитана на блеклую руду
	Pb	64,89	65,29	315,091	5,09		
	Sb	16,00	16,10	132,227	2		
	S	16,90	17,00	530,157	8,12		
	Сумма	99,39	100,00				
9	Cu	0,34	0,35	5,508			Медь, железо и цинк пересчитаны соответственно на блеклую руду, пирит и сфалерит
	Fe	0,16	0,16	2,865			
	Zn	0,25	0,27	4,130			
	Ag	0,16	0,16	1,483			
	Pb	68,00	69,42	335,022	5,17		
	As	6,60	6,73	89,841	2		
	Sb	4,95	5,05	41,475			
	S	17,50	17,86	556,976	8,36		
	H.o.	?					
	Сумма	97,96	100,00				
11 ⁺	Fe	0,04	-				
	Ag	0,04	-				
	Pb	69,77	70,00	333,821	4,98		
	Sb	2,19	2,20	18,068	2,31		
	As	10,37	10,40	138,833			
	S	17,34	17,40	542,631	8		
	H.o.	0,12					
	Сумма	99,87	100,00				
12 ⁺	Cu	0,03	0,03	0,472			
	Fe	0,26	0,26	4,655	4,95		
	Ag	0,16	-	-			
	Pb	67,08	67,15	324,067			
	Sb	9,98	9,99	82,047	2,14		
	As	3,97	3,97	52,997			
	Bi	1,55	1,55	7,416			
	S	17,03	17,05	531,716	8		
	H.o.	0,10					
	Сумма	100,16	100,00				

Химические анализы менегинита

Компо- ненты	Теор. состав	1	2	3	4*	5*	6*	7*	8	9	10
Cu	1,45	2,83	1,56	1,21	1,20	1,24	1,15	1,15	0,80	0,88	0,88
Ag		0,11		сл.	0,19	0,005	0,012	0,005			
Fe		0,30	0,25	0,07	0,07	0,26	0,47	0,12			
Pb	61,51	61,05	62,09	62,45	61,88	61,28	61,41	61,65	59,30	59,64	59,44
As		0,23									
Sb	19,46	16,80	19,11	18,94	18,66	19,70	19,62	19,86	21,47	19,49	21,48
S	17,58	17,49	18,22	17,47	17,33	16,87	17,12	17,15	18,08	18,04	18,14
H.o.				0,05	0,38	0,38	0,36	0,29			
Сумма	100,00	98,81	99,23	100,19	99,71	99,73	100,14	100,16	99,65	98,05	99,94
Уд. вес.		6,432	6,360	6,430	6,37	6,31	6,35	6,47	6,32	6,22	6,29

1 - Боттино, анал. Лочка; 2 - Шварценберг, анал. Френцель; 3 - Швеция, анал. Маузелиус; 4* - 7* - материалы автора, анал. Л.Е.Новороссова; 4 и 5 - Боттино (4 обр. 152/1, Горный музей, 5 - обр. 47977, Музей АН); 6 и 7 - Восточное Забайкалье (6 - Алгачи, обр. 136/12, Горный музей; 7 - Нерчинский округ, обр. 33019, Музей АН); 8-10 - Алгачи, материал Брейтгаупта, анал. Френцель (9 - "плюмбостиб", 8 и 10 - "эмбритит").

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический анализ,		Атомные количества	Отношение атомных количеств
		факти- ческий	приведен. к 100%		
1	2	3	4	5	6
2	Cu	1,56	1,57	24,709	0,86
	Fe	0,25	0,25	4,476	
	Pb	60,09	60,56	292,264	
	Sb	19,11	19,26	158,180	
	S	18,22	18,36	572,569	
	Сумма	99,23	100,00		
3	Cu	1,21	1,21	19,043	0,84
	Fe	0,07			
	Pb	62,45	62,41	301,192	
	Sb	18,94	18,93	155,470	
	S	17,47	17,45	544,190	
	Сумма	100,19	100,00		
4 ⁺	Cu	1,20	1,21	19,043	0,95
	Ag	0,19	0,19	1,761	
	Fe	0,07	0,07	1,253	
	Pb	61,33	62,29	300,613	
	Sb	18,66	18,79	154,320	
	S	17,33	17,45	544,190	
	Сумма	99,71	100,00		
5 ⁺	Cu	1,24	1,25	19,673	0,997
	Ag	0,005	-	-	
	Fe	0,26	0,26	4,655	
	Pb	61,28	61,68	297,669	
	Sb	19,70	19,83	162,861	
	S	16,87	16,98	529,533	
	Н.о.	0,38			
	Сумма	99,73	100,00		
6 ⁺	Cu	1,15	1,15	18,099	1,00
	Ag	0,012	-	-	
	Fe	0,47	0,47	8,415	
	Pb	61,41	61,55	297,042	
	Sb	19,62	19,67	161,547	
	S	17,12	17,16	535,146	
	Н.о.	0,36			
	Сумма	100,14	100,00		

Таблица V (окончание)

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический анализ, вес. %		Атомные количества	Отношение атомных количеств
		факти- ческий	приведен. к 100%		
1	2	3	4	5	6
7 ⁺	Cu	1,15	1,16	18,256 } 2,149 } 297,717 } 163,190 } 535,146 } 24 }	0,87 13,35 7,32 24
	Ag	0,003			
	Fe	0,12	0,12		
	Pb	61,65	61,69		
	Sb	19,86	19,87		
	S	17,15	17,16		
	Н.о.	0,29			
	Сумма	100,16	100,00		
8	Cu	0,80	0,80	12,590	0,53
	Pb	59,30	59,51	287,197	12,12
	Sb	21,47	21,55	176,988	7,47
	S	18,08	18,14	568,708	24
	Сумма	99,65	100,00		
9	Cu	0,88	0,90	14,164	0,59
	Pb	59,64	60,83	293,567	12,28
	Sb	19,49	19,87	163,190	6,83
	S	18,04	18,40	573,817	24
	Сумма	98,05	100,00		
10	Cu	0,88	0,88	13,850	0,59
	Pb	59,44	59,48	287,052	12,17
	Sb	21,48	21,49	176,495	7,48
	S	18,14	18,15	566,020	24
	Сумма	99,94	100,00		

Химические анализы буланжерита

Таблица VI

Компоненты	Теор. состав	1	2	3	4	5	6	7	8 ⁺	9 ⁺	10 ⁺	11 ⁺	12 ⁺	13 ⁺
Cu			0,38	0,40		0,08			0,01		0,08	0,06	0,20	0,02
Fe		0,54	0,43	0,08	0,39	0,24	сл.		0,22	0,24		0,20	0,12	0,45
Zn								0,06				0,20		
Sn		0,20												
Ag									0,04					
Hg			0,03								0,04		0,03	0,03
Tl														
Pb	55,23	55,59	54,74	54,73	55,28	55,60	55,05	55,22	55,24	55,03	0,0095	0,011		
Bi											4,59	4,42		
Sb	25,97	25,58	25,54	25,47	25,40	25,93	25,71	25,54	25,00	24,57	20,70	20,33	24,74	24,81
As				Нет			0,25			0,52	1,04	0,83		
S	18,80	18,79	18,44	19,43	13,19	18,47	18,82	18,91	18,21	18,62	18,23	18,70	18,86	19,03
CaO									0,33	0,35	0,23	0,07		
H.о.					0,62			0,23	0,29	0,30	0,09	0,19	0,61	0,20
Сумма	100,00	100,70	99,56	100,11	99,33	100,32	99,83	99,96	99,96	100,15	100,44	100,12	99,85	99,78
Уд.вес.		5,62			5,98	5,995	6,274	6,185	6,13	6,10	6,08	6,02	6,16	

1-2 - Есауловское (Нагольный Кряж); 1 - анал. Белик (Белик, 1938), 2 - анал. МГРИ (Юшко, 1948); 3 - Третьеспасовский рудник (Нерчинский р-н), анал. Шарлов (Смирнов, 1925); 4 - Кливленд (штат Вашингтон, США), анал. Гоньер (Palach, Bergan 1942); 5 - Трелча (Югославия), анал. Ракич (Rakic, 1950); 6 - Сала (Швеция), анал. Маузелиус (Sjogren, 1897); 7 - Сьюлепюр (штат Монтана, США), анал. Шенон (Shannon, 1920); 8⁺ -13⁺ - материалы автора, 8 и 9 - Тамдыкол (Ю. Фергана), 10 и 11 - Алайский хребет, 12 - Нагольный Кряж, 13 - Тоскана (Италия), обр. 19438, Музей АН СССР; 8 и 10 - анал. А.И. Покровская, ИГЕМ; 9, 11, 12, 13 - анал. Л.Е. Новороссова, ИМГРЭ.

Пересчет химических анализов буланжерита

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные коли- чества	Отношение атомных количеств	Примечание
		факти- ческий	приведен. к 100%			
1	2	3	4	5	6	7
1	Fe	0,54	0,54	9,669		Железо пере- считывалось на пирит
	Sn	0,20	0,20	1,685		
	Pb	55,59	55,20	266,396	5,03	
	Sb	25,58	25,40	208,807	4	
	S	18,79	18,66	581,925	10,70	
	Сумма	100,70	100,00			
2	Cu	0,38	0,38	5,980		Медь пересчиты- валась на халько- пирит, железо - на пирит
	Fe	0,43	0,43	7,699		
	Hg	0,03	0,03	0,150		
	Pb	54,74	54,98	265,335	5,04	
	Sb	25,54	25,65	210,660	4	
	S	18,44	18,53	577,871	10,69	
	Сумма	99,56	100,00			
3	Cu	0,40	0,40	6,295		Железо пересчи- тывалось на халькопирит
	Fe	0,08	0,08	1,432		
	Pb	54,73	54,67	263,839	5,05	
	As	нет				
	Sb	25,47	25,44	208,936	4	
	S	19,43	19,41	605,314	11,49	
	Сумма	100,11	100,00			
4	Fe	0,39	0,39	6,983		Железо пересчиты- валось на пирит
	Pb	55,28	55,69	268,761	5,11	
	Sb	25,40	25,59	210,168	4	
	S	18,19	18,33	571,634	10,62	
	H.O.	0,62				
	Сумма	99,88	100,00			
5	Cu	0,03	0,03	1,259		Медь пересчиты- валась на халько- пирит, остаток железа - на пи- рит
	Fe	0,24	0,24	4,297		
	Pb	55,60	55,42	267,458	5,04	
	Sb	25,93	25,85	212,303	4	
	S	18,47	18,41	574,128	10,66	
	Сумма	100,32	100,00			

Таблица VII (продолжение)

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные коли- чества	Отношение атомных количеств	Примечание
		факти- ческий	приведен. к 100%			
1	2	3	4	5	6	7
6	Fe	Следы				
	Pb	55,05	55,15	266,155	4,96	
	As	0,25	0,25	3,337	4	
	Sb	25,71	25,75	211,482		
	S	18,82	18,85	587,850	10,95	
	Сумма	99,83	100,00			
7	Zn	0,06	0,06	0,918		
	Pb	55,22	55,37	267,217	5,08	
	Sb	25,54	25,61	210,332	4	
	S	18,91	18,96	591,280	11,22	
	H.o.	0,23				
	Сумма	99,96	100,00			
8 ⁺	Cu	0,01	0,01	0,157		
	Fe	0,22				
	Ag	0,04				
	Zn	0,10	0,10	1,5		
	Pb	55,24	55,75	269,00	5,03	
	Sb	25,00	25,23	207,2	4	
	As	0,52	0,52	6,9		
	S	18,21	18,39	573,5		10,69
	SiO ₂	0,29				
	CaO	0,33				
	Сумма	99,96	100,00			
9 ⁺	Fe	0,24				
	Pb	55,03	55,44	267,555	4,94	
	Sb	24,57	24,75	203,269	4	
	As	1,04	1,05	14,017		
	S	18,62	18,76	535,043		10,77
	CaO	0,35				
	SiO ₂	0,30				
Сумма	100,15	100,00				
10 ⁺	Cu	0,08	0,08	1,3		Цинк пересчитывался на сфалерит
	Ag	0,04	0,04	0,4		
	Zn	0,56	0,56	8,6		
	Pb	55,20	55,00	263,4	5,29	

Таблица VII (окончание)

Анализы	Компоненты	Химический анализ, вес. %		Атомные количества	Отношение атомных количеств	Примечание	
		фактический	приведен. к 100%				
1	2	3	4	5	6	7	
	Sb	20,70	20,63	169,4	4		
	Bi	4,59	4,57	21,9			
	As	0,72	0,72	9,6			
	S	18,23	18,17	566,6			11
	SiO ₂	0,09					
	CaO	0,23					
	Сумма	100,44	100,00				
1 ⁺	Cu	0,06	0,06	0,944	5,34	Медь пересчитывалась на халькопирит, цинк - на сфалерит	
	Zn	0,20	0,20	3,059			
	Fe	0,20	0,20	3,581			
	Pb	55,12	55,20	266,396			
	Sb	20,33	20,36	167,214			
	As	0,83	0,83	11,080	4		
	Bi	4,42	4,43	21,196			
	S	18,70	18,72	583,796	11,50		
	CaO	0,07					
	SiO ₂	0,19					
	Сумма	100,12	100,00				
2 ⁺	Cu	0,20	0,20	3,148	5,26	Медь и цинк пересчитывались на халькопирит	
	Fe	0,12	0,12	2,149			
	Ag	0,03					
	Pb	55,29	55,73	268,954			
	Sb	24,74	24,94	204,829			4
	S	18,86	19,01	592,840	11,49		
	H.o.	0,61					
	Сумма	99,85	100,00				
3 ⁺	Fe	0,45	0,45	3,057	5,24	Железо пересчитывалось на пирит	
	Ag	0,03					
	Cu	0,02	0,02	0,315			
	Pb	55,24	55,49	267,796			
	Sb	24,81	24,92	204,665			4
	S	19,03	19,12	593,270	11,33		
	H.o.	0,20					
	Сумма	99,85	100,00				

Химические анализы джемсонита

Таблица VIII

Компоненты	Теорет. состав	1	2	3	4	5 ⁺	6 ⁺	7 ⁺	8 ⁺	9 ⁺
Cu		0,22		3,45	0,05		0,09	0,06	0,23	0,19
Mn					0,03			0,11		
Ag		0,13		1,34			0,02		0,04	
Zn			0,42	0,62						
Fe	2,71	2,79	3,63	2,00	5,74	2,68	2,60	2,56	2,63	2,61
Jn						0,036		0,013		
Pb	40,15	40,08	39,97	39,05	39,25	40,35	39,69	39,96	39,03	40,46
Sb	35,39	34,70	32,62	32,00	33,24	33,39	34,87	34,78	35,51	33,37
Bi			1,06				0,07		0,24	
As				0,20						
Sn										0,11
S	21,75	21,87	21,78	21,75	21,60	21,86	21,68	21,68	21,83	21,56
H.о.						0,94	0,49	0,63	0,38	0,76
CaO						0,56	0,43		0,20	0,83
MgO						0,02				
Сумма	100,00	99,29	99,48	100,41	100,23	99,80	99,94	99,78	100,09	99,89
Уд. вес		5,546	-	5,54	-	5,63	5,6	5,63	5,616	5,60

1 - Серро-де-Убина (Боливия), анал. Прайор (Spenser, 1907); 2 - Валенсия д'Алькантара (Испания), анал. Шафгоч (Schaffgotsch, 1836); 3 - Аргентина, анал. Зиверт (Stelzner, 1873); 4 - Дубрава (Чехословакия) (Matherny, 1956); 5 - 9 - материалы автора, анал. Л.Е.Новороссова; 5 - Центральное (Восточное

Пересчет химических анализов джемсонита

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический анализ, вес. %		Атомные количе- ства	Отношение атомных количеств
		фактиче- ский	приведен. к 100%		
1	2	3	4	5	6
1	Cu	0,22	0,22	3,462	
	Ag	0,13	0,13	1,205	
	Fe	2,79	2,81	50,813	1,03
	Pb	40,08	40,37	194,826	4
	Sb	34,70	34,95	287,040	5,89
	S	21,37	21,52	671,116	13,73
	Сумма	99,29	100,00		
2	Fe	3,63	3,65	65,354	1,35
	Zn	0,42	0,42	6,424	
	Pb	39,97	40,18	193,910	4
	Bi	1,06	1,07	5,120	5,66
	Sb	32,62	32,79	269,300	
	S	21,78	21,89	682,655	14,08
	Сумма	99,48	100,00		
4	Cu	0,05			
	Mn	0,03			
	Fe	5,74	5,74	102,775	2,165
	Pb	39,25	39,32	189,759	4
	Sb	33,24	33,30	273,489	5,764
	S	21,60	21,64	674,858	14,225
	Н.о.	0,32			
	Сумма	100,23	100,00		
5 ⁺	Pb	40,35	41,06	198,156	4
	Fe	2,68	2,73	48,881	0,99
	Sb	33,39	33,97	278,991	5,63
	S	21,86	22,24	693,569	14,00
	SiO ₂	0,94			
	CaO	0,56			
	MgO	0,02			
	Сумма	99,80	100,00		
6 ⁺	Ag	0,02			
	Fe	2,60	2,63	47,090	0,97
	Cu	0,09	0,09	1,416	
	Pb	39,69	40,09	193,475	3,98

Таблица IX (окончание)

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический анализ, вес, %		Атомные количе- ства	Отношение атомных количеств
		фактичес- кий	приведен. к 100%		
1	2	3	4	5	6
	Sb	34,87	35,22	289,257 } 0,335 } 682,966 }	5,97
	Bi	0,07	0,07		
	S	21,68	21,90		
	H.о.	0,49			14
	CaO	0,43			
	Сумма	99,94	100,00		
7 ⁺	Mn	0,11	0,11	2,002 } 46,195 } 0,944 }	0,99
	Fe	2,56	2,58		
	Cu	0,06	0,06		
	Pb	39,96	40,30	194,489	4,00
	Sb	34,78	35,08	288,108	5,91
	S	21,68	21,87	682,031	14
	H.о.	0,63			
	Сумма	99,78	100,00		
8 ⁺	Ag	0,04			
	Fe	2,63	2,65	47,449	0,97
	Cu	0,23	0,23	3,620	
	Pb	39,03	39,24	189,373	3,91
	Sb	35,51	35,70	293,200 }	
	Bi	0,24	0,24	1,148 }	6,02
	S	21,83	21,94	684,214 }	
	H.о.	0,38			14
	CaO	0,20			
	Сумма	100,09	100,00		
9 ⁺	Fe	2,61	2,66	47,628 } 2,990 }	0,97
	Cu	0,19	0,19		
	Pb	40,46	41,20	198,832	4,12
	Sb	33,37	33,99	279,156	5,71
	Sn	0,11			
	S	21,56	21,96	684,837	14
	H.о.	0,76			
	CaO	0,83			
	Сумма	99,89	100,00		

Химические анализы плагионита

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные коли- чества	Отношение атомных количеств	Примечание (месторожде- ние, аналитик, источник све- дений)
		факти- ческий	приведен. к 100%			
1	2	3	4	5	6	7
1	Pb	40,52	40,53	195,599	4,98	Вольфсберг; Розе; (Rose, 1833)
	Sb	37,94	37,94	311,597	7,89	
	S	21,53	21,53	671,427	17	
	Сумма	99,99	100,00			
2	Pb	41,24	41,37	199,652	5,14	Вольфсберг; Прайор; (Spenser, 1897)
	Sb	37,35	37,47	307,736	7,93	
	S	21,10	21,16	659,889	17	
	Сумма	99,69	100,00			
3	Ag	0,18	-			Оруро; Замбонини; (Zambonini, 1912)
	Pb	40,28	40,28	194,392	4,94	
	Sb	38,30	38,29	314,471	8,00	
	S	21,30	21,43	668,309	17	
	Сумма	100,19	100,00			
4	Cu	сл.	-			Оруро; Пизани; (Laszkiewicz, 1932)
	Sn	0,62	-			
	Pb	44,20	44,51	214,806	5,61	
	Sb	34,40	34,64	284,494	7,44	
	S	20,70	20,85	650,221	17	
	H.o.	0,60				
	Сумма	100,52	100,00			
5 ⁺	Cu	0,05	0,05			Вольфсберг обр. 58115, Музей АН) Новороссова (ИМГРЭ) материал автора
	Fe	0,22	0,22			
	Ag	0,002	-			
	Pb	40,20	40,41	195,020	5,02	
	Sb	37,80	37,99	312,007	8,03	
	S	21,22	21,33	660,859	17	
	H.o.	0,46				
	Сумма	99,95	100,00			

Химические анализы цинкениита

Компо- ненты	Теор. состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 ⁺	12 ⁺	13 ⁺	14 ⁺	
Cu		0,42	0,70	0,64		сл.	0,03									
Ag				0,52					1,20		0,26	0,38	0,43	0,34	0,59	
Fe			0,06	0,84	0,08	1,88	1,34		0,23						0,06	
Zn				1,24		22,38	13,46	0,50	0,02	1,83	0,55	0,21	0,05	0,05	0,14	
Sn				0,18												
Pb	35,79	31,84	34,33	29,80	29,33	19,83	21,61	34,58	32,77	34,31	33,60	34,15	34,67	33,97	33,91	
Sb	42,06	44,39	42,15	43,32	46,17	28,69	36,49	42,30	35,00	40,12	42,00	41,85	41,84	42,65	42,24	
As				0,27				0,48	5,64							
S	22,15	22,58	22,63	23,02	23,10	26,44	24,64	21,84	22,50	21,08	21,75	21,96	21,86	22,48	22,19	
H.о.				0,60	0,94	0,51										
CaO									0,59	1,30	1,80	0,60	0,71	0,35	0,83	
MgO									0,31			0,09	0,13			
Щелочи												0,21	0,27	0,22		
Сумма	100,00	99,23	99,87	100,43	99,62	99,73	100,57	99,70	98,71	98,64	99,96	99,50	99,96	100,06	99,96	
Уд. вес.	-	5,31	-	-	-	-	-	5,23	5,21	-	-	5,30	5,30	5,31	-	

1 и 2 - Вольфсберг, 1 - анал. Розе (Rose, 1826), 2 - анал. Гиймэн (Guilleman, 1900); 3 - Оууро, анал. Шенон (Shannon, Short, 1927); 4-6 - Байя Маре; 4 - анал. Финали (De Finaly, 1929); 5 и 6 - анал. Грасселли (Koch, 1957); 7 - Бонанца-Крик (Warren, Thompson, 1944); 8 - Ред-Маунтин (Штат Колорадо, США), анал. Хилербранд (Hillerbrand 1834); 9 - Заводинское, анал. Антипов (Дмитриева, Покровская, 1957); 10 - Зиддинское, анал. В.И. Тихомирова (Сазонов, 1960); 11⁺ - 14⁺ - материалы автора, 11 и 12 - Терекское, 13 - Вольфсберг (обр. 47711, музей АН, Москва), 14 - Гурдара (обр. 59214, Музей АН, Москва); 11 - анал. А.И. Покровская (ИГЕМ), 12-14 - анал. Л.Е. Новороссова (ИМГРЭ).

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные количе- ства	Отношение атомных количеств		Примечание	
		факти- ческий	приведен. к 100%		1	2		
								3
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Cu	0,42	0,42	6,610	1	6		
	Pb	31,84	32,09	154,867				
	Sb	44,39	44,73	367,362	2,32	13,94		
	S	22,58	22,76	709,786	4,49	26,92		
	Сумма	99,23	100,00					
2	Cu	0,70	0,70	11,017	1	6		
	Fe	0,06	0,06	1,074				
	Pb	34,33	34,38	165,919				
	Sb	42,15	42,20	346,583	2,01	12,06		
	S	22,63	22,66	706,667	4,09			
Сумма	99,87	100,00						
3	Cu	0,64	0,64	10,072			Цинк пересчи- тывался на сфалерит	
	Ag	0,52	0,52	4,820				
	Fe	0,84	0,84	15,040				
	Zn	1,24	1,24	18,966				
	Sn	0,18	0,18	1,516				
	Pb	29,80	29,86	144,105				1
	Sb	43,32	43,39	356,357				2,22
	As	0,27	0,27	3,604				
	S	23,02	23,06	719,142				4,27
	H.o.	0,60						
Сумма	100,43	100,00						
4	Fe	0,08	0,08	1,432	1	6		
	Pb	29,33	29,72	143,429				
	Sb	46,17	46,79	384,280	2,65	15,92		
	S	23,10	23,41	730,057	5,04	30,24		
	H.o.	0,94						
	Сумма	99,62	100,00					
5	Pb	19,83	19,99	96,472	1	6	Цинк и желе- зо пересчиты- вались на сфалерит (Koch, 1957)	
	Sb	28,69	28,91	237,434	2,46	14,77		
	Zn	22,38	22,56	345,060				
	Fe	1,88	1,89	33,841				
	S	26,44	26,65	831,098	4,69	28,1		
	SiO ₂	0,51						
Сумма	99,73	100,00						

Таблица XII (продолжение)

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные количе- ства	Отношение атомных количеств		Примечание
		факти- ческий	приведен. к 100%		1	2	
					6	7	
1	2	3	4	5	6	7	8
6	Cu	0,03	0,03	0,472			Цинк и же- лезо перес- читывались на сфале- рит (Koch, 1957)
	Pb	24,61	24,47	118,093	1	6	
	Sb	36,49	36,28	197,963	2,52	15,11	
	Zn	13,46	13,38	204,803			
	Fe	1,34	1,33	23,814			
	S	24,64	24,50	764,049	4,52	27,14	
	Сумма	100,57	100,00				
7	Fe	0,50	0,50	8,953	1	6	
	Pb	34,58	34,68	167,366			
	Sb	42,30	42,43	348,472	2,01	12,08	
	As	0,48	0,48	6,408			
	S	21,84	21,91	683,278			
	Сумма	99,70	100,00				
8	Ag	0,23			1	6	
	Cu	1,20	1,23	19,358			
	Fe	0,02	0,02	0,358			
	Pb	32,77	33,74	162,830	2,16	12,96	
	Sb	35,00	36,03	195,910			
	As	6,64	5,81	77,560			
	S	22,50	23,17	722,572	4,18	25,08	
	H ₂ O	0,59					
	Сумма	98,71	100,00				
9	Fe	1,83			1	1,99	
	Pb	34,31	35,92	173,351			
	Sb	40,12	42,01	345,023			
	S	21,03	22,07	688,268	3,97		
		H ₂ O	1,30				
	Сумма	98,64	100,00				
10	Fe	0,55	0,56	10,027	1	2,10	Железо пересчиты- валось на пирит
	Cu	0,26	0,26	4,092			
	Pb	33,60	34,23	165,195			
	Sb	42,00	42,79	351,429	4,01		
	S	21,75	22,16	691,075			
		H ₂ O	1,80				
	Сумма	99,96	100,00				

Таблица XII (окончание)

Ана- лизы	Компо- ненты	Химический ана- лиз, вес. %		Атомные количе- ства	Отношение атомных количеств		Приме- чание
		факти- ческий	приведен. к 100%		1	2	
11 ⁺	Fe	0,21	0,21	3,760			
	Cu	0,38	0,39	6,138			
	Pb	34,15	34,66	167,270	1		
	Sb	41,85	42,47	348,801	2,08		
	S	21,95	22,27	694,505	4,09		
	CaO	0,09					
	MgO	0,21					
	SiO ₂	0,60					
	Сумма	99,50	100,00				
12 ⁺	Fe	0,05	0,05	0,895			
	Cu	0,43	0,43	6,767			
	Pb	34,67	35,08	169,297	1		
	Sb	41,84	42,33	347,651	2,05		
	S	21,86	22,11	689,515	4,04		
	CaO	0,13					
	MgO	0,27					
	SiO ₂	0,71					
	Сумма	99,96	100,00				
13 ⁺	Cu	0,34	0,34	5,351	1		
	Fe	0,05	0,05	0,895			
	Pb	33,97	34,14	164,760			
	Sb	42,65	42,87	352,086	2,09		
	S	22,48	22,60	704,796	4,18		
	H.о.	0,35					
	MgO	0,22					
	Сумма	100,06	100,00				
14 ⁺	Ag	0,06					
	Cu	0,59	0,59	9,285			
	Fe	0,14	0,14	2,507			
	Pb	33,91	34,23	165,195	0,99		
	Sb	42,24	42,64	350,197	2,00		
	S	22,19	22,40	698,559	4		
	H.о.	0,83					
	Сумма	99,96	100,00				

Основные отражения на рентгенограммах порошка сульфoантимонитов свинца

Минерал	d(l)	d(l)	d(l)	d(l)	d(l)	Литература
Геокронит	3,54(10)	3,06(9)	2,89(9)	2,24(9)	1,831(8)	ASTM, 1961
Менегинит	3,71(9)	3,30(10)	2,92(8)	2,08(5)	1,199(5)	Berry, Thompson, 1962
Буланжерит	3,72(10)	3,21(4)	2,81(9)	1,859(8)	1,752(5)	То же
<i>Стеррит</i>	3,68(9)	3,26(10)	2,965(6)	2,836(7)	2,353(6)	Jambor, 1967
<i>Мэдохит</i>	3,67(7)	3,40(10)	3,355(9)	2,925(7)	2,72(8)	То же
Семсейит	3,85(5)	3,38(8)	3,27(10)	2,98(9)	2,87(4)	Berry, Thompson, 1962
<i>Стибидюф-ренуазит</i>	4,26(6)	3,75(10)	3,21(5)	3,00(2)	2,89(7)	Burkart-Baumann a.o., 1966
<i>Венит</i>	3,81(10)	3,03(9)	3,42(8)	3,26(8)	2,76(7)	Jambor, 1967
<i>Дадсонит</i>	3,38(10)	3,78(7)	2,84(7)	3,62(6)	2,794(6)	Jambor, 1969
<i>Плейферит</i>	3,98(4)	3,39(10)	3,32(10)	2,785(7)	2,086(6)	Jambor, 1967
Гетероморфит	3,34(8)	3,23(10)	2,95(10)	2,69(9)	2,14(7)	Мозгова, Бородаев, 1972
<i>Сорбит</i>	4,13(6)	3,44(10)	3,38(9)	2,96(6)	2,099(5)	Jambor, 1967
<i>Лонзит</i>	4,17(8)	3,45(10)	3,40(6)	2,92(8)	2,836(5)	То же
Джемсонит	3,44(10)	3,18(5)	3,09(5)	2,84(9)	2,75(8)	Berry, Thompson, 1962
Плагионит	3,85(6)	3,29(10)	2,92(9)	2,63(8)	2,14(6)	То же
<i>Тинтинаит</i>	3,51(8)	3,40(10)	2,87(5)	2,71(7)	2,022(6)	Harris a.o., 1968
<i>Геттардит</i>	4,19(5)	3,52(10)	2,795(9)	2,670(5)	2,653(5)	Jambor, 1967
Робинсонит	4,04(8)	3,92(8)	3,39(10)	3,03(8)	2,75(8)	Berry, Thompson, 1962
Цинкениит	3,45(10)	3,02(2)	2,81(4)	1,985(3)	1,828(3)	То же
<i>Твиннит</i>	4,18(5)	3,51(10)	2,78(7)	2,689(5)	2,344(8)	Jambor, 1967
	3,91(5)					
Фюлеппит	3,87(10)	3,22(7)	2,92(4)	2,12(2)	1,981(2)	Berry, Thompson, 1962

Результаты измерения R сульфoантимонитов свинца в интервале спектра $\lambda = 420 - 700$ нм.

Минерал	R, %	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	Сведения об образце
Геокронит	Rg	44,6	44,0	43,4	42,7	42,3	41,7	41,2	40,6	40,1	39,8	39,4	39,0	38,6	38,2	37,8	Рис. 3; табл. 3; Екатерино- Благодатское, Приложение II' ан. 5,6
	Rp	41,0	40,4	40,1	39,7	39,5	39,2	38,9	38,5	38,1	37,9	37,7	37,1	36,6	36,3	35,7	
Менегинит	Rg	45,2	44,9	44,6	44,4	44,3	44,1	43,9	43,5	42,9	42,3	41,8	41,1	40,6	40,1	39,7	Рис. 6; табл. 5; Боттино, Приложение I, ан. 7
	Rp	36,4	36,6	36,5	36,4	36,5	36,4	36,2	36,0	35,6	35,3	35,0	34,7	34,3	34,1	33,9	
Буланже- рит	Rg	47,4	46,8	46,3	45,6	45,1	44,7	44,1	43,4	42,5	41,8	41,0	40,1	39,5	39,0	38,3	Рис. 20; табл. 11; Тамды- кол, Приложение I, ан. 11, 12
	Rp	38,1	38,0	37,7	37,6	37,3	37,0	36,5	36,0	35,3	34,8	34,2	34,0	33,7	33,4	33,0	
Гетеро- морфит	Rg	45,6	45,4	45,2	45,0	44,7	44,3	43,8	43,2	42,6	41,8	41,0	40,2	39,3	38,4	37,5	Рис. 24; табл. 18; Карака- мар
	Rp	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,0	33,8	33,6	33,1	32,7	32,0	31,4	30,6	30,0	
Джемсо- нит	Rg	45,8	46,0	46,2	46,1	46,0	45,4	44,7	43,9	43,0	42,3	41,7	41,0	40,5	39,8	39,2	Рис. 21; табл. 12; Централь- ное, Приложение I, ан. 18
	Rp	40,3	40,1	40,0	39,9	39,7	39,2	38,8	38,2	37,6	37,2	36,8	36,4	36,0	35,7	35,2	
Плагионит	Rg	43,3	43,4	43,5	43,3	43,0	42,6	41,9	41,3	40,9	40,6	40,3	39,7	39,0	38,2	37,2	Рис. 25; табл. 20; Вольфс- берг, Приложение I, ан. 24
	Rp	32,9	33,2	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,3	33,0	32,6	32,0	31,4	30,6	30,0	29,4	
Цинкени́т	Rg	45,5	45,5	45,4	45,1	44,8	44,6	43,3	42,6	41,9	41,3	40,6	40,1	39,5	39,0	38,3	Рис. 27; табл. 26; Вольфс- берг, Приложение I, ан. 29
	Rp	39,8	39,8	39,7	39,5	39,2	38,7	38,1	37,5	37,0	36,5	36,0	35,5	35,1	34,7	34,0	
Кремний	R		43,0	41,2	39,9	38,9	37,9	37,1	36,4	35,8	35,4	35,0	34,7	34,4			Аттестован по кремнию НФЛ на приборе ПИОР

УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Буланжерит	$Pb_5 Sb_4 S_{11}$ - 35, 102, 160, 161
<i>Веенит</i>	$Pb_2(Sb, As)_2 S_5$ - 105, 160
Геокронит	$Pb_5(Sb, As)_2 S_8$ - 14, 102, 160, 161
Гетероморфит	$Pb_7 Sb_8 S_{19}$ - 78, 160, 161
<i>Геттардит</i>	$Pb_9(Sb, As)_{16} S_{33}$ - 105, 160
Джемсонит	$Pb_4 Fe Sb_6 S_{14}$ - 35, 102, 160, 161
<i>Дадсонит</i>	$Pb_{11} Sb_{12} S_{29}$ - 105, 160
<i>Лонзит</i>	$Pb_{22} Sb_{26} S_{61} (?)$ - 105, 160
Менегинит	$Pb_{13} Cu Sb_7 S_{24}$ - 23, 102, 160, 161
<i>Мэддокит</i>	$Pb_7(Sb, As)_6 S_{16}$ - 105, 160
Плагионит	$Pb_5 Sb_8 S_{17}$ - 82, 102, 160, 161
<i>Плейферит</i>	$Pb_{16}(Sb, As)_{18} S_{43}$ - 105, 160
Робинсонит	$Pb_7 Pb_{12} S_{25}$ - 90, 160
Семсейит	$Pb_9 Sb_8 S_{21}$ - 75, 160
<i>Сорбит</i>	$Pb_{12}(Sb, As)_{14} S_{33} (?)$ - 105, 160
<i>Стеррит</i>	$Pb_{12}(Sb, As)_{10} S_{27} (?)$ - 105, 160
Стибидюфренуазит	$Pb_2(Sb, As)_2 S_5$ - 105, 160
<i>Твиннит</i>	$Pb(Sb, As)_2 S_4$ - 105, 160
<i>Тинтинаит</i>	$Pb_5 Sb_8 S_{17}$ - 105, 160
Цинкенит	$Pb Sb_2 S_4$ - 92, 102, 160, 161
Фюлэппит	$Pb_3 Sb_8 S_{15}$ - 88, 160

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Условные обозначения и сокращения.....	7
Глава I СИСТЕМАТИКА СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА И ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ.....	8
Систематика сульфoантимонитов свинца.....	8
Описание минералов.....	10
Общие замечания к описанию минералов.....	10
Геокронит (отношение $PbS : Sb_2S_3 = 5 : 1$).....	14
Игольчатые сульфoантимониты свинца с отношением $PbS : Sb_2S_3 =$ $= 3,7 : 1 - 1,33 : 1$	23
Менегинит.....	23
Буланжерит, джемсонит.....	35
Таблитчатые сульфoантимониты свинца (отношение $PbS : Sb_2S_3 =$ $= 2,25 : 1 - 0,75 : 1$).....	72
Семсейит.....	75
Гетероморфит.....	78
Плагионит.....	82
Фюлэппит.....	88
Игольчатые сульфoантимониты свинца с отношением $PbS : Sb_2S_3 =$ $= 1,17 : 1 - 1 : 1$	90
Робинсонит.....	90
Цинкениит.....	92
Основные выводы по диагностике сульфoантимонитов свинца...	101
Глава II ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА И РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МИНЕРАЛАХ ГРУППЫ.....	106
Глава III О МЕСТЕ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА В ПРОЦЕССАХ РУДООБРАЗОВАНИЯ.....	118
Глава IV К ВОПРОСУ О КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА И ПОЛОЖЕНИИ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ В ОБЩЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛОВ.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	128
ЛИТЕРАТУРА.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	139
УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ.....	162

Татьяна Никифоровна Чвилёва

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ДИАГНОСТИКА
СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА

Утверждено к печати Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редактор издательства Н.В. Знаменская
Художественный редактор С.А. Литвак
Художник В.С. Артемьев
Технические редакторы В.И. Дьяконова, Г.П. Каренина

Подписано к печати 24/VIII-73 г. Формат 60×90 1/16
Бумага офсетная №1. Усл.печ.л. 10,25+0,25 вкл. Уч.-изд.л. 12,04
Т-09814. Тираж 600 экз. Тип.зак. 422.
Цена 1 р.20к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука", 103717 ГСП, Москва, К-62,
Подсосенский пер., 21
1-я типография издательства "Наука", Ленинград, 199034,
9-я линия, 12

1 р. 20 к.

906