

А.А. ГОДОВИКОВ

МИНЕРАЛЫ
РЯДА
ВИСМУТИН-
ГАЛЕНИТ

НОВОСИБИРСК-1965

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

А. А. ГОДОВИКОВ

МИНЕРАЛЫ
РЯДА ВИСМУТИН-ГАЛЕНИТ

(Ревизия опубликованных химических анализов)

Под редакцией
академика В. С. СОБОЛЕВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
НОВОСИБИРСК

1965

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Методика обработки литературных данных по химическому составу минералов	9
Химический состав отдельных минералов	14
Висмутин Bi_2S_3	14
Селенистый висмутин $\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_3$ и гуанахуатит Bi_2Se_3	19
Икунолит Bi_4S_3 и лайтакаринит Bi_4Se_3	21
Устарасит $\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	22
Каннищарит $\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	22
Чивнатит $2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	24
Рецбаниит $4\text{PbS} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$	25
Галенобисмутит $\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	28
Вейбуллит (селенистый галенобисмутит) $\text{PbBi}_2(\text{S}, \text{Se})_4$ и платинит $\text{PbBi}_2(\text{S}, \text{S})_3$	32
Виттит $5\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	33
Козалит $2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	34
Бурсаит $5\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	43
Лиллианит $3\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	44
Вартаит и гунгаррит $4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	45
Беегерит $6\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	46
Галенит PbS	47
Заключение	61
Литература	74
Приложение I	82
Приложение II	92
Приложение III	94
Приложение IV	96
Приложение V	98
Приложение VI	100
Приложение VIa	104
Приложение VII	105
Приложение VIIa	108
Приложение VIII	109
Приложение IX	110
Приложение IXa	120
Приложение X	123
Приложение Xa	127
Приложение XI	128
Приложение XII	130
Приложение XIII	132
Приложение XIIIa	178
Приложение XIV	185

Редактор *Б. М. Александровский*
 Художественный редактор *В. Г. Бурыкин*. Обложка художника *Ю. В. Гаврилова*.
 Технический редактор *Т. П. Танаксва*. Корректоры *А. К. Ершов, Л. И. Коршунова*

Сдано в набор 25 сентября 1964 г. Подписано в печать 18 сентября 1965 г. МН 00595. Бумага 70×108/16.
 11,75 печ. л.=16,4 усл. печ. л., 14,48 уч.-изд. л. Тираж 780 экз.

Сибирское отделение издательства «Наука». Новосибирск, Советская, 20. Заказ № 152. Темплач
 1965 г. № 957. Типография № 1. Новосибирск, Красный проспект, 22.
 Цена 1 р. 01 к.

ВВЕДЕНИЕ

В геологической литературе все чаще стали появляться работы, посвященные описанию свинцово-висмутовых сульфосолей¹ и близких к ним минералов. Только за последние 10 лет в этой минеральной группе выделено семь новых минералов и к настоящему времени в ней насчитывается 20 минеральных видов.

Повышение интереса к минералам этой группы неслучайно. Знание свинцово-висмутовых сульфосолей и близких к ним минералов имеет большое научное значение, так как речь идет об одной из многочисленных групп сульфосолей с интересными особенностями структуры, состава и изоморфизма. Многие из них являются основными висмутовыми минералами, и изучение их представляет большой практический интерес, особенно в связи с усилившимся спросом промышленности на висмут, нашедший применение в энергетике и при получении полупроводников.

В то же время большинство из представителей данной группы минералов изучено пока еще недостаточно. Это становится особенно ясным из рассмотрения табл. 1, где приведены сведения и по другим минералам, знание которых необходимо для правильного понимания особенностей свинцово-висмутовых сульфосолей.

Прежде всего бросается в глаза, что для большинства рассматриваемых минералов имеющиеся сведения крайне скудны. Из приведенных в табл. 1 двадцати восьми минералов лишь шесть могут считаться твердо установленными — висмутин, галенобисмутит, козалин, галенит, клаусталит, лайтакариит. Что касается остальных минералов, то данные о них в наиболее крупных справочных руководствах, как правило, противоречивы. Нет единогласия и в оригинальных работах. Даже среди новых минеральных видов некоторые (бурсаит, тинит) описаны опять-таки крайне недостаточно.

Попытки всестороннего рассмотрения названной группы минералов предпринимались крайне редко. В то же время в общих работах, посвященных сульфидам, отдельные сульфосоли часто искусственно отрываются друг от друга. Это происходит особенно при кристаллохимической классификации, когда берется за основу тип соединения, как это сделано, например, в «Системе минералогии» (Дэна и др., 1950) или в справочнике «Минералы» (т. I 1960). Такой подход приводит к рассеянию небольших знаний по сульфосолям, которые имеются в настоящее

¹ Некоторые исследователи (Г. Б. Бокий и др., 1964; А. С. Поваренных — см. Штрунц, 1962) рассматривают минералы этой группы в качестве сложных сульфидов свинца и висмута и предлагают исключить из употребления термин «свинцово-висмутовые сульфосоли».

Номенклатура свинцово-висмутовых сульфосолей, сульфидов и селенидов свинца и висмута

№ п/п	Минерал	Формула	Кем выделен	Номенклатура			
				по Дэна и др. (1950)	по Рамдору (1962)	по справочнику „Минералы“, т. 1 (1960)	по Штрунцу (под ред. А. С. Поваренных. 1962)
1	Висмутин	Bi_2S_3	Дэна, 1884 г.	Висмутин (327)*	Висмутин 682—686	Висмутин (258)	Висмутин (95)
2	Селеновисмутин	$\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_3$	Френцелем, 1874 г.	Синоним гуанахуатита (331)	Не описан	Разновидность висмутина	Селеносодержащая разновидность висмутина (450)
3	Гуанахуатит	Bi_2Se_3 (ромбич.)	Кастилло, 1873 г.	Требуется подтверждения (331)	Гуанахуатит (686)	Гуанахуатит (546)	Гуанахуатит (95)
4	Парагуанахуатит	Bi_2Se_3 (тригон.)	Рамдором, 1948 г.	Не описан	Парагуанахуатит (686)	Парагуанахуатит (545)	Парагуанахуатит (95)
5	Икунолит	Bi_4S_3	Като, 1960 г.	Не описан	Не описан	Не описан	Скунолит (81)
6	Лайтакарнит	$\text{Bi}_4\text{Se}_2\text{S}$	Ворма, 1959 г.	Не описан	Не описан	Лайтакарнит (546)	Лайтакарнит (81)
7	<i>Устарасит</i>	$\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	Сахаровой, 1955 г.	Не описан	Устарасит (753)	Возможно разновидность висмутина (263)	Устарасит (102)
8	Канницарит	$\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	Цамбонини и др., 1925 г.	Тождествен с галенобисмутитом (565)	Канницарит (753)	Недостаточно изучен (526)	Канницарит (103)
9	Бончевит	$\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	Костовым, 1958 г.	Не описан	По свойствам промежуточный между висмутином и галенобисмутитом (753)	Бончевит (447)	Бончевит (102)
10	<i>Чивнатит</i>	$3\text{PbS} \cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$	Раммельсбергом, 1853 г.	Требуется подтверждения (368)	Не описан	Смесь висмутина с различными медными минералами (258)	Смесь висмутина с Pb-сульфидами (483)
11	Селенистый ишвиатит	$3\text{Pb}(\text{S}, \text{Se}) \cdot 4\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_3$	Раммельсбергом, 1853 г.	Требуется подтверждения (368)	Не описан	Не описан	Не описан
12	<i>Минерал типа рецбаншита</i>	$4\text{PbS} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$	Сахаровой, 1955 г.	Не описан	По-видимому два разных минерала состава $\text{Pb}_2\text{Bi}_6\text{S}_{11}$ и $\text{Cu}_3\text{Pb}_3\text{Bi}_{10}\text{S}_{19,5}$ (715)	Недостаточно изучен (528)	Не описан

13	Галенобисмутит	$PbS \cdot Bi_2S_3$	Шегреном, 1878 г.	Галенобисмутит (563—566)	Галенобисмутит (752)	Галенобисмутит (443)	Галенобисмутит (102)
14	Вейбуллит	$Pb(S, Se) \cdot Bi_2(S, Se)_3$	Вейбуллом, 1885 г.	Нуждается в подтверждении (567)	Неоднороден, отличается от галенобисмутита (753)	Разновидность галенобисмутита (443)	Возможно селеногаленобисмутит с формулой $PbS \cdot Bi_2Se_3$ (103)
15	Платинит	$Pb(Se, S) \cdot 2Bi(Se, S)$	Флинком, 1910 г.	Нуждается в дальнейшем изучении (567)	Платинит (652)	Недостаточно изучен (556)	Платинит (94)
16	Бисмутоплагинит	$5PbS \cdot 4Bi_2S_3$	Шепоном, 1920 г.	Тождествен с галенобисмутитом (565)	Не описан	Синоним галенобисмутита (443)	Синоним галенобисмутита (361)
17	Виттит	$5Pb(S, Se) \cdot 3Bi_2(S, Se)_3$	Юханссоном, 1924 г.	Нуждается в дальнейшем изучении (539)	Не описан	Селеносодержащий хаммарит (548)	Селеносодержащий хаммарит (369)
18	Козалит	$2PbS \cdot Bi_2S_3$	Гентом, 1868 г.	Козалит (534)	Козалит (753—755)	Козалит (391)	Козалит (103)
19	Селенистый козалиит	$2Pb(S, Se) \cdot Bi_2(S, Se)_3$	Эдманом, 1941 г.	Не описан	Разновидность козалиита (753)	Селенокозалиит (393)	Селеносодержащий козалиит или галенобисмутит (450).
20	Бурсаит	$5PbS \cdot 2Bi_2S_3$	Вайкерслотом, 1955 г.	Не описан	Не описан	Недостаточно изучен (525)	Бурсаит (103)
21	Лиллианит	$3PbS \cdot Bi_2S_3$	Келлером, 1885 г.	Нуждается в подтверждении (482—484)	Лиллианит (756—757)	Лиллианит (756—757)	Частично галенобисмутит в тесном сростании с галенитом; частично селенкозалиит из Иллиарви (410)
22	Селенистый лиллианит	$3Pb(S, Se) \cdot Bi_2(S, Se)_3$	Боргстремом, 1910 г.	Не описан	Не описан	Не описан	Не описан
23	Гунгаррит	$4PbS \cdot Bi_2S_3$ (монокл. ?)	Симпсоном, 1924 г.	Данных недостаточно (479)	Изучен недостаточно и недостоверен (757)	Синоним козалиита (391)	Смесь козалиита и галенита (382)
24	Вартаит	$4PbS \cdot Bi_2S_3$ (ромбич.)	Креннером, 1926 г.	Возможно идентичен с гунгарритом (479)	Синоним гунгаррита (757)	Синоним козалиита (391)	Смесь козалиита и галенита (366)

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Минерал	Формула	Кем выделен	Номенклатура			
				по Дена и др. (1950)	по Рамдору (1962)	по справочнику «Минералы», т. 1 (1960)	по Штрунду (под ред. А. С. Поваренных, 1962)
25	Беегерит	$6PbS \cdot Bi_2S_3$	Кенингом, 1881 г.	Беегерит (468—470)	Беегерит (648)	Недостаточно изучен (523)	Смесь ширмерита и магильдита (359)
26	Тлигит	$20(Pb, Ag, Zn)S \cdot Bi_2S_3$	Росети, 1950 г.	Не описан	Не описан	Недостаточно изучен (530)	Недостаточно изучен (462)
27	Галенит	PbS	Кобелем, 1838 г.	Галенит (238)	Галенит (620—636)	Галенит (184)	Галенит (92)
28	Клаусталит	$PbSe$	Хаусманом, 1813 г. Беданом, 1832 г.	Клаусталит (243)	Клаусталит (636—637)	Клаусталит (536)	Клаусталит (92)

* В скобках указаны страницы. Жирным шрифтом приведены минералы, достоверность выделения которых в качестве самостоятельных минеральных видов не вызывает сомнений и подтверждена настоящей работой; курсивом — минералы, самостоятельность которых, согласно проведенным исследованиям, менее достоверна, но вполне вероятна; обычным шрифтом — малодоступные минералы.

время, затрудняя их сопоставление друг с другом и с минералами, близкими к ним по составу и свойствам. Все это тормозит дальнейшее изучение сульфосолей и разработку надежных методов их диагностики.

Из работ, в которых делается попытка более глубокого рассмотрения химизма сульфосолей, можно отметить только статью Ив. Костова (1957). Названный автор, проводя аналогию между свинцово-висмутовыми, свинцово-сурьмяными и свинцово-мышьяковыми сульфосолями, приходит к выводу о возможном существовании в природе еще многих неоткрытых пока свинцово-висмутовых сульфосолей (табл. 2).

В то же время к настоящему моменту по химическому составу отдельных представителей минералов рассматриваемой группы накоплен большой фактический материал, критическое рассмотрение которого позволит, несомненно, выявить основные закономерности, присущие химическому составу как группы в целом, так и отдельных ее представителей. Подобные работы, на наш взгляд, имеют большое значение и для любой другой группы минералов, но, к сожалению, проводятся крайне редко.

Сопоставление данных по химическому анализу некоторых сульфидов в последнее время проводилось Ю. С. Несетеровой (1958, 1960, 1961). Среди рассмотренных ею минералов находится и галенит, однако выводы, касающиеся последнего, в большинстве случаев мало обоснованы и недостаточно объективны (более подробно об этом см. статью А. А. Годовикова и М. С. Сахаровой, 1963), поскольку автором не использовались методы ма-

гемаической статистики, без которых в данном случае получить достоверные результаты не представляется возможным.

Этот же недостаток свойствен и другим работам, рассматривающим те или иные особенности химического состава галенита (Еникеева, 1959; Нечелюстов и др., 1962; Oftedal, 1962) только путем качественных сопоставлений. В большинстве из них даже не приводятся исходные данные, что, естественно, значительно их обесценивает и не позволяет привлечь результаты, положенные в их основу, для более строгой обработки.

В настоящей работе делается попытка критического рассмотрения всего имеющегося в распоряжении автора материала по химическому составу минералов ряда висмутинов — галенит. Учитываются также и селеносодержащие разности (кроме клаусталита), органически связанные с остальными минералами. По этой же причине в заключении используются данные и по медно-свинцово-висмутовым сульфидам — айкиниту, гладиту, хаммариту и линдстремиту. Привлечение материалов по этим минералам позволило более четко выявить некоторые из установленных закономерностей.

При выяснении особенностей химического состава отдельных минералов, как правило, рассматриваются совместно все анализы, указанные в

Таблица 2

Состав однометаллических сульфосолей свинца (по Костову, 1957)

PbS: X ₂ S ₃ ⁺	Pb: X	Мышьяковые	Сурьмяные	Висмутовые
1:3	1:6	?	?	Pb ₅ Bi ₆ S ₁₀ — устарасит
1:2	1:4	?	?	Pb ₅ Bi ₄ S ₇ — бончевит **
2:3	1:3	?	?	?
3:4	1:2,667	?	Pb ₃ Sb ₈ S ₁₅ — фюлленит	Pb ₃ Bi ₈ S ₁₅ — чивиагит
4:5	1:2,500	?	PbSb ₂ S ₄ — цинкенил	Pb ₄ Bi ₁₀ S ₁₉ — рецобанит
1:1	1:2	?	PbSb ₈ S ₁₇ — платгонит	Pb ₅ Bi ₂ S ₄ — галенобисмутит
5:4	1:1,600	PbAs ₂ S ₄ — сарторит	Pb ₄ Sb ₆ S ₁₃ — джемсонит	?
4:3	1:1,500	Pb ₅ As ₈ S ₁₇ — ливейнгит	Pb ₂ Sb ₆ S ₁₄ — гетероморфит	?
3:2	1:1,333	Pb ₄ As ₆ S ₁₃ — баумгауэрит	Pb ₂ Sb ₅ S ₅ — пломозит	?
5:3	1:1,200	Pb ₃ As ₄ S ₉ — рагит	Pb ₃ Sb ₄ S ₁₁ — буланжерит	?
2:1	1:1,000	Pb ₂ As ₂ S ₅ — дюфренуазит	Pb ₂ Sb ₃ S ₆ — фалькманит	Pb ₅ Bi ₆ S ₁₄ — виттит
5:2	1:0,800	?	Pb ₂ Sb ₂ S ₅ — мелегнит	Pb ₂ Bi ₂ S ₅ — козалит
3:1	1:0,667	Pb ₃ As ₂ S ₆ — гитерманит	Pb ₅ Sb ₂ S ₈ — ?	Pb ₅ Bi ₄ S ₁₁ — бурсанит
4:1	1:0,500	Pb ₄ As ₂ S ₇ — грейгонит	Pb ₂ Sb ₂ S ₇ — ?	Pb ₃ Bi ₂ S ₆ — лиллианит
5:1	1:0,400	Pb ₅ As ₂ S ₈ — иорданит	Pb ₅ Sb ₂ S ₈ — ?	Pb ₄ Bi ₂ S ₇ — гунгаррит
6:1	1:0,333	?	?	Pb ₆ Bi ₂ S ₉ — беегерит

* Под X понимается As, Sb, Bi

** Бончевит выделен Костовым (Kostov, 1958) после опубликования им данной таблицы.

литературе как относящиеся к данному минералу. Лишь в отдельных случаях, когда это было уже совершенно необходимо, анализы, относившиеся ранее к одному минеральному виду, разбивались (например, некоторые анализы, относившиеся ранее к висмутину, рассматриваются сразу же при описании икунолита).

Для химических анализов всех рассматриваемых минералов в работе принята сплошная нумерация, включая и те из них, которые упоминаются в тексте или лишь в примечаниях. Для каждого минерального вида анализы располагаются в последовательности, наиболее удобной для их рассмотрения. При пересчетах атомные количества определяются до четвертой значащей цифры (поскольку ей, как правило, соответствуют сотые доли весовых процентов) и выражаются в таблицах умноженными на 10 000. Анализы сведены в виде таблиц по отдельным минералам или небольшим группам и помещены в приложениях к работе. Приложения в отличие от текстовых таблиц нумеруются римскими цифрами.

Всего рассмотрено около 350 анализов. По отдельным минеральным видам они распределены крайне неравномерно, что связано с частотой встречи минералов. В связи с этим и выводы, получаемые для каждого минерального вида, имеют различную степень достоверности. Тем не менее проведенная работа, на наш взгляд, позволила выявить ряд интересных особенностей рассматриваемых минералов. Представляется также, что она может быть полезна не только для понимания особенностей химического состава минералов ряда висмутинов — галенит, но и как опыт критического рассмотрения имеющихся в литературе данных для минералов класса сульфидов и близких к ним соединений.

Естественно, что для всестороннего освещения столь сложной группы минералов необходимо привлечение и других данных, в первую очередь кристаллохимических и экспериментальных. Настоящую же работу следует рассматривать лишь как первый шаг в этом направлении. В дальнейшем имеется в виду подробно рассмотреть все остальные свойства минералов этого ряда. В то же время представляется, что излагаемые ниже данные могут иметь и самостоятельный интерес. Являясь лишь первым шагом в этом направлении, настоящая работа, естественно, страдает рядом недостатков. Автор будет искренне признателен, если о них ему сообщат по адресу: Новосибирск, 90, Институт геологии и геофизики СО АН СССР.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ МИНЕРАЛОВ

Общепринятой методики для обработки литературных данных по химическому составу минералов нет. Поэтому остановимся несколько подробнее на методике, использованной в настоящей работе.

Наиболее важным при сопоставлении каких-либо данных является, как известно, достоверность исходного материала. В нашем случае анализ считался достоверным, если он удовлетворял следующим требованиям:

1. Сумма анализа находится в пределах 99,50—100,50%¹.

2. Отношение $Me : X$, где $Me = Pb$ или Pb, Cu_2, Ag_2 , а $X = Bi$ или $Bi, Sb(As)$, не выходит за границы нормального распределения этой величины для группы анализов, относящихся к данному минеральному виду. Естественно, что этот критерий оказывался не применимым для одиночных анализов, когда невозможно наметить границы нормального распределения. В этом случае принималось, что «избыток» серы или висмута (свинца) после пересчета анализа не должен превышать соответственно 1 или 3 вес. %.

3. Химический состав находится в соответствии с плотностью.

На характеристике плотности остановимся более подробно. Как это ни странно, в современных работах величины плотности не используются для указанной цели и даже в какой-то мере абсолютизируются. При характеристике же плотности того или иного минерала ее, как правило, не корректируют, даже в том случае, если материал, для которого определялась плотность, заведомо содержал примеси (механические или изоморфные) других компонентов.

Если плотность смеси двух минералов (A и B) обозначить через d_c , плотности соответствующих минералов через d_A и d_B , а процентное содержание каждого из минералов через m и n соответственно, где $m+n$, естественно, равно 100%, то плотность смеси в этом случае будет равна

$$d_c = \frac{100}{\frac{m}{d_A} + \frac{n}{d_B}},$$

т. е. весу этой смеси (100 г), деленному на ее объем. Преобразуя это равенство, получим

$$d_c = \frac{100 d_A d_B}{d_A n + d_B m}.$$

¹ Для некоторых анализов, особенно если их мало, предел суммы устанавливался в 99,45—100,75%.

Точно так же плотность смеси из большего числа компонентов будет связана с процентным содержанием каждого из них и их плотностью

$$d_c = \frac{100 d_A d_B d_F \dots d_T d_U}{d_B d_F \dots d_T d_U m + d_A d_F \dots d_T d_U n + d_A d_B \dots d_T d_U p + d_A d_B d_F \dots d_T q},$$

где $d_A, d_B, d_F \dots d_T, d_U$ — плотности минералов, входящих в состав смеси (от A до U);

$m, n, p \dots q$ — процентное содержание соответствующих минералов.

Таким образом, зная процентное содержание отдельных минералов в том или ином образце, получаемое в результате пересчета химического анализа, и плотности минералов, входящих в состав смеси, можно рассчитать теоретическую плотность смеси, имеющей данный суммарный химический состав. Если допустить, что плотность основного минерала, входящего в состав смеси, может колебаться в каких-то пределах, например, для галенита нами эти пределы были приняты 7,50—7,60, то для каждого имеющегося определения плотности реального образца, представляющего собою смесь нескольких минералов, потребуется вычислить теоретическую плотность дважды, исходя один раз из нижнего и один раз из верхнего принятого предела плотности основного компонента. Если приведенная плотность окажется между этими двумя величинами, можно считать, что анализ удовлетворителен, если она окажется за этими пределами, анализ, очевидно, следует отнести к числу недостаточно достоверных.

Однако операция упрощается вдвое, если определять не теоретическую плотность смеси, а плотность ее основного компонента, исходя из имеющейся плотности смеси и плотностей минералов-примесей. В этом случае достаточно получить одну величину. Если она оказывается в заданном интервале, анализ считается достоверным, если она не укладывается в него, — как недостаточно надежный.

Легко показать, что приведенные выше формулы для вычисления, например, плотности минерала A примут следующий вид:

$$d_A = \frac{d_c d_B m}{100 d_B - d_c n} \quad (\text{для смеси из двух минералов})$$

и

$$d_A = \frac{d_c d_B d_F \dots d_T d_U m}{100 d_B d_F \dots d_T d_U - d_c (d_F \dots d_T d_U n + d_B \dots d_T d_U p + d_B d_F \dots d_T q)}$$

(для смеси из U минералов).

При пересчетах плотность минералов-примесей принималась равной: для сфалерита — 4,0, халькопирита — 4,2, пирротина — 4,55, пирита — 5,0, арсенопирита — 6,1, антимонита — 4,63, церуссита — 6,55, глета — 9,14, англезита — 6,36, барита — 4,50, самородного висмута — 9,80, кварца (и нерастворимого остатка) — 2,65. Полученные путем пересчета плотности рассматриваемых минералов, конечно, могут также несколько отличаться от истинных величин, но, несомненно, они ближе к ним, чем исходные данные.

Для выяснения того, являются ли несоответствия между плотностью и химическим составом случайными или они действительно могут служить критерием достоверности исходных данных, была рассмотрена зависимость между плотностью и химическим составом галенита, поскольку для него имеется наибольшее число химических анализов.

При этом принималось, что плотность галенита после пересчета должна быть в пределах 7,50—7,60 г/см³ (рентгеновская плотность галенита — 7,59 г/см³).

В результате пересчета установлено, что из восьми анализов галенита, произведенных П. П. Пилипенко, в пяти случаях (62,5%) плотность соответствует указанному выше интервалу, а в трех (37,5%) отклоняется от него. Аналогичные соотношения получены для анализов, выполненных в лаборатории ИГЕМ АН СССР (аналитики Ю. С. Нестерова, П. Н. Ниссенбаум, Г. Арапова): в 10 случаях (62,5%) плотность находится в принятых пределах, а в шести (37,5%) — отклоняется от них. В то же время среди анализов, выполненных в Геологическом институте АН Казахской ССР (Вейц, Покровская, Болгов, 1957; Газизова, 1962), только шесть (28,6%) имеют плотность, соответствующую принятой плотности галенита, а в пятнадцати анализах (71,4%) она отклоняется от указанной величины. Нам представляется, что такое положение не является случайным и в какой-то степени служит оценкой качества работы отдельных аналитиков.

Таким образом, качество анализа не зависит от давности его выполнения, что считается чуть ли не основным критерием многими исследователями при оценке анализов.

Исходя из сказанного, наиболее достоверными следует считать анализы, для которых величина плотности основного компонента после пересчета оказывается в допустимых пределах².

При использовании плотности исходного материала в качестве критерия достоверности химического анализа необходимо, конечно, отдавать отчет в том, что сам анализ может быть выполнен качественно, а ошибка будет заключаться в определении плотности. Это тем более вероятно, что плотности в настоящее время уделяется незаслуженно мало внимания, что выражается в отсутствии ее определения в большинстве новых анализов. Могут быть и иные соотношения, т. е. плотность может быть определена точнее химического состава, особенно когда она определяется не для всей навески перед использованием ее для химического анализа, а для небольшого количества минерала из отдельной навески. Именно этим, очевидно, объясняется, что в работе К. Сайто (Saito, 1961) все 15 приведенных для плотности галенита величин лежат в интервале 7,56₄—7,59₂, тогда как сумма в девяти из них ниже 99,5%; а в некоторых случаях составляет 98,97 и даже 93%. Таким образом, при использовании плотности в качестве критерия достоверности в группе недостаточно достоверных могли попасть и качественные химические анализы, однако иного выхода, к сожалению, мы не видели.

² Все сказанное о связи между плотностью и химическим составом относится равно как к механическим примесям, так и к изоморфным смесям, если элемент-примесь входит в состав последних в виде того соединения, плотность которого учитывается при расчетах. В некоторых случаях плотность изоморфных смесей может отличаться от средней величины, полученной из плотностей «крайних» членов. Так, например, в случае изоморфного замещения цинка в сфалерите на железо, плотность смеси будет определяться не как промежуточная величина из плотностей ZnS и FeS (пирротина), а как величина, пропорциональная изменению молекулярного веса смеси, поскольку ZnS и FeS имеют разную структуру. Однако в группе минералов висмутин — галенит мы обычно сталкиваемся с иным случаем, когда определенный элемент, входящий в состав изоморфной смеси, можно представить в виде того или иного минерала-минерала и в этом случае необходимо учитывать все сказанное выше о связи плотности с химическим составом.

Никаких других способов контроля достоверности химического анализа в случае рудных минералов пока не имеется.

Все другие физические константы исходного материала, например параметры решетки, относятся, естественно, лишь к главному компоненту. Кроме того, для них устанавливается более сложная зависимость от содержания элементов-примесей, которую необходимо предварительно выявить. Одни элементы могут вызывать изменение физических констант в одном направлении, другие — в прямо противоположном. Все физические константы исходного материала, кроме плотности, относясь к главному компоненту, будут, понятно, зависеть только от химических (изоморфных) примесей, тогда как плотность зависит в равной степени как от изоморфных, так и от механических примесей.

Номера наиболее достоверных анализов приведены в соответствующих приложениях без скобок или в круглых скобках, если они требуют пересчета с исключением примесей. Номера недостаточно достоверных анализов взяты в квадратные скобки. Во всех случаях, где это необходимо, кроме приложения с исходными данными, имеется приложение под тем же номером, но с буквой *a*, в котором помещены пересчитанные после исключения примесей данные. В них же иногда приводятся и недостаточно достоверные анализы, чтобы яснее была причина, по которой они относятся к этой категории.

Прежде чем приступить к пересчету анализов на минералы-примеси, выявлялась связь между отдельными элементами. С этой целью применялись графические методы или, если это было возможно, методы, обычно используемые для установления корреляционных связей. При этом связь между содержанием отдельных компонентов принималась линейной.

Как известно, характер линейной связи между компонентами определяется коэффициентом корреляции (*r*) по формуле

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}},$$

где x_i и y_i — процентное содержание коррелируемых величин в каждом из анализов;

\bar{x} и \bar{y} — соответствующие средние арифметические значения каждой из величин.

Вычисления проводились по методике, применяемой для малых выборок (см. например, Вистелиус, 1948), с использованием математических таблиц (Гутерман, Иванова, 1939; Сегал, Семендяев, 1962).

Частные коэффициенты корреляции, т. е. коэффициенты корреляции между двумя величинами при постоянном значении третьей, определялись по формуле:

$$r_{1,2 \cdot 3} = \frac{r_{1,2} - r_{1,3} r_{2,3}}{\sqrt{(1 - r_{1,3}^2)(1 - r_{2,3}^2)}},$$

где $r_{1,2 \cdot 3}$ — частный коэффициент корреляции между первым и вторым признаком³ при исключенном влиянии третьего (при постоянном его значении);

³ Под признаком в данном случае понимается процентное содержание соответствующих компонентов.

$r_{1,2}; r_{1,3}; r_{2,3}$ — обычные коэффициенты корреляции между соответствующими признаками, номера которых указаны в индексе.

Для количественной характеристики зависимости между двумя признаками определялись коэффициент прямолинейной регрессии (R)

$$R_{1/2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} r_{1,2},$$

где σ_1, σ_2 — средние квадратичные отклонения соответствующих признаков,
и уравнение прямолинейной регрессии

$$y = a + bx,$$

где y, x — содержание соответствующих элементов (1 и 2), связанных друг с другом линейной зависимостью;

$$a = \bar{x}_y - b \bar{x}_x,$$

где \bar{x}_x, \bar{x}_y — средние арифметические содержания элементов 1 и 2;
 $b = R_{1/2}$ — коэффициент прямолинейной регрессии.

Оценка достоверности коэффициентов корреляции проводилась по критерию Фишера (t):

$$t = z \sqrt{n-3},$$

где $z = \Phi(r)$ и определяется по специальным таблицам (Плохинский, 1961);

n — число пар наблюдений.

В ходе пересчетов выяснилось, что хорошие результаты можно получить только для образцов определенной генетической группы, поэтому во всех возможных случаях таковые выделялись и все количественные сопоставления проводились внутри подобных групп.

Анализы после выявления реальных связей между отдельными компонентами графическим или количественным методом пересчитывались на выявленные в результате этого минералы-миналы с учетом примечаний в первоисточнике о примеси того или иного минерала в анализируемом материале. При этом избыток катионов во всех случаях искусственно сводился к «избытку» висмута (или свинца), а анионов — к «избытку» серы. Как тот, так и другой представляются в данном случае наиболее вероятными, хотя следует все время отдавать себе отчет в некоторой условности подобного понятия.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОТДЕЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ

ВИСМУТИН Bi_2S_3

В литературе удалось обнаружить 38 химических анализов, относящихся к висмутину (см. приложение 1). Из них 23 оказались недостаточно достоверными: ан. 2 — из-за слишком низкой плотности; ан. 5, 13, 15, 20, 24, 32, 38 — из-за несоответствия суммы величине, принятой в качестве критерия достоверности; ан. 10, 16, 17, 18, 36 — по этой же причине и из-за чрезмерно высокого избытка висмута, получаемого в результате пересчета; ан. 19, 26, 27, 30, 31, 35 — из-за чрезмерного избытка висмута; ан. 23 — из-за избытка серы; ан. 6 — из-за отклонений в сумме, плотности и большого избытка серы; ан. 33 — из-за определения серы по разности; ан. 34, согласно авторскому примечанию, относится к тесному срастанию висмутин со значительными количествами примесей других минералов и, следовательно, тоже не может считаться достоверным. Из оставшихся 15 анализов к двум также следует подходить с осторожностью (ан. 3 и 7), поскольку сумма 100% в обоих случаях дается для пересчитанного материала, а исходные данные для определения их достоверности выяснить не удалось.

Таким образом, достоверными можно считать только 13 анализов. При столь большом количестве недостаточно достоверных и малом числе достоверных анализов связи между отдельными элементами-примесями удобнее определять графически.

Химический состав висмутин характеризует постоянное присутствие в нем примесей меди, железа, свинца и ряда других элементов. Поэтому прежде всего остановимся на выяснении частоты встречи в анализах висмутин того или иного элемента-примеси и характера этих примесей.

Данные по частоте встречи элементов-примесей в рассматриваемых анализах были изображены графически (рис. 1). Как видно из графика, наиболее характерными примесями висмутин являются медь, железо и свинец. Сравнительно часто встречаются сурьма и теллур. Остальные элементы играют подчиненную роль. Из того же графика видно, что из элементов подгруппы — медь, серебро и золото — резко преобладает медь, из семейства железо, кобальт и никель — железо; сурьма встречается в качестве примеси чаще мышьяка, а теллур чаще селена. Особо следует отметить, что мышьяк для висмутин не является характерной примесью.

Для выяснения характера примесей меди и железа в висмутине соотношение содержаний этих элементов во всех имеющихся анализах было изображено графически (рис. 2а). По оси абсцисс откладывалось

содержание железа, а по оси ординат — содержание меди и серебра. На этот же график была нанесена пунктирная прямая, соответствующая отношению $Cu : Fe = 1 : 1$, т. е. соотношению их в халькопирите.

Из графика видно, что все анализы по их отношению к халькопиритовой прямой можно объединить в несколько групп.

I. Анализы, расположенные вблизи этой прямой (ан. 1, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 26, 21, 31); в них соотношение между медью и железом близко $1 : 1$, и присутствие в минерале указанных элементов может быть объяснено, очевидно, механической примесью халькопирита.

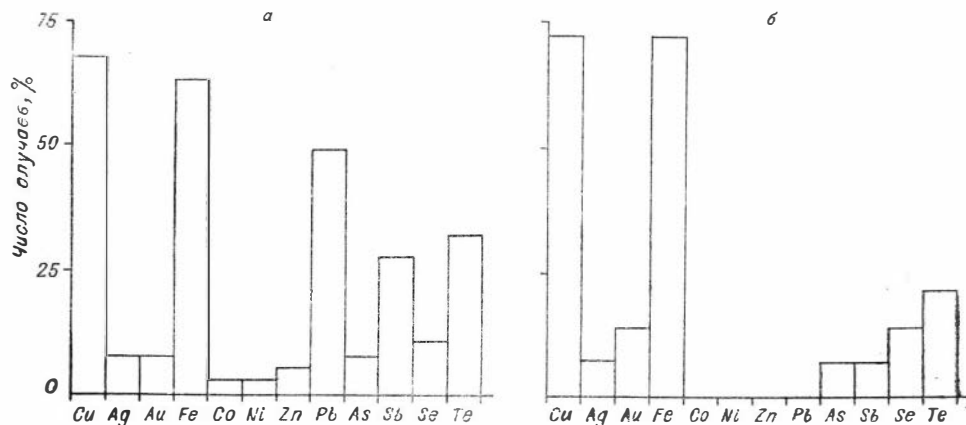


Рис. 1. Частота встречи элементов-примесей в висмутине.
а — по данным всех имеющихся анализов; б — только достоверных из них.

II. Анализы, расположенные значительно выше прямой (ан. 17, 19, 22, 24, 25, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38). В свою очередь их можно разделить на две подгруппы:

1) анализы, находящиеся вблизи оси ординат (ан. 17, 22, 24, 25, 28, 29, 32, 35, 36, 37, 38);

2) анализы, находящиеся на значительном удалении от нее (ан. 19, 30, 34).

Для всех анализов первой подгруппы характерно присутствие примеси свинца, в целом значительно более высокой, чем для свинецсодержащих анализов первой группы. Это позволяет предполагать связь резкого отклонения указанных анализов от халькопиритовой прямой в сторону более высоких содержаний меди с вхождением последней непосредственно в состав висмутита, например, с образованием твердого раствора висмутинов — айкинит или в каком-то ином виде.

Причины столь резкого отклонения анализов второй подгруппы от халькопиритовой прямой не ясны, причем в двух из них свинец не указан (ан. 19 и 34). Не исключено, что его просто не выделяли и он по ходу анализа шел вместе с висмутом. Следует учитывать также, что анализы 19 и 34 недостаточно достоверны.

III. Анализы, расположенные практически на оси абсцисс (ан. 20, а также, возможно, ан. 9 и 26, включенные в группу I). В этом случае, очевидно, примесь халькопирита отсутствует, и железо связано в тот или иной сульфид.

Тройственный характер зависимости между содержанием меди (и серебра) и железа в висмутине отчетливо виден и на графике, построенном по данным только достоверных анализов (рис. 2а). В этом случае, правда, общее число анализов, входящих в ту или иную группу, сокра-

щается, и, например, ж последней из них можно отнести лишь ан. 9, однако в целом указанные соотношения сохраняются. При этом почти половина анализов (ан. 1, 8, 14, 11, 21) лежит вблизи халькопиритовой прямой. Ряд анализов (22, 25, 29) располагается между этой прямой и осью ординат, что, очевидно, связано с двояким поведением в них меди (и серебра): частичным вхождением ее в состав халькопирита, а частичным — в состав промежуточных членов ряда висмутинов — айкинит.

В литературе также очень часто указывается тесная пространственная связь висмутинна с халькопиритом. Так, в имеющихся 16 случаях

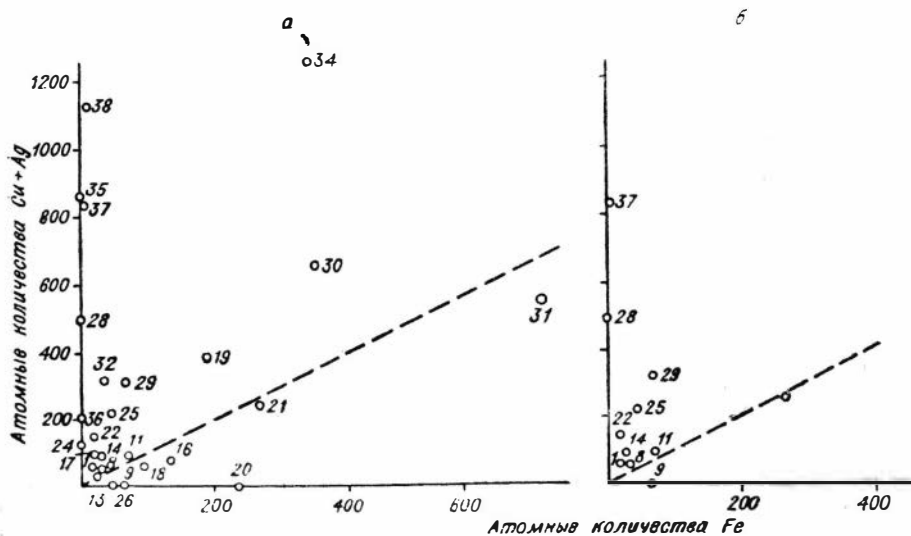


Рис. 2. Связь между содержанием меди и железа в висмутине.

а — график построен с учетом всех имеющихся анализов; б — только достоверных анализов.

упоминания сопутствующих висмутину минералов (см. табл. 1) в 11 отмечается халькопирит. Учитывая все сказанное, следует признать, что в большинстве анализов висмутинна наиболее вероятной формой связи железа и меди является халькопирит, хотя во многих случаях медь преобладает и ее избыток объясняется иными закономерностями.

Затем была рассмотрена зависимость между содержанием оставшейся после вычитания халькопирита меди и содержанием в висмутине свинца. На графике рис. 3а, построенном по данным всех имеющихся анализов, преобладающее число точек — 15 из 22 (ан. 1, 8, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 22, 24, 25, 29, 32, 36, 37) — ложится вблизи прямой с отношением $Cu : Pb = 1 : 1$. Еще более отчетливо эта закономерность выявляется при использовании для графического построения только достоверных анализов (рис. 3б). В этом случае от прямой висмутинов — айкинит практически сильно отклоняется лишь один анализ (28), тогда как 9 точек лежат на ней или вблизи нее. Подобный изоморфизм установлен для минералов группы рецбанита и пока его предельным случаем рассматривается айкинит $PbCuBiS_3$ (Wickman, 1952; Padega, 1956).

Шесть точек (ан. 19, 28, 30, 34, 35, 38) на графике рис. 3а располагаются значительно выше прямой висмутинов — айкинит, что могло бы свидетельствовать о заметном преобладании в этих анализах меди (и серебра) над тем ее количеством, которое необходимо для образования промежуточных членов ряда висмутинов — айкинит. На первый взгляд это

трудно объяснимо, однако необходимо учесть, что только один (ан. 28) из шести анализов является достоверным. Его отклонение от прямой висмутин — айкинит может явиться случайным или будет объясняться иным характером взаимоотношения меди (и серебра) и свинца, выражающегося в обратно пропорциональном изменении их содержания в ряде минералов рассматриваемой группы, на чем более подробно остановимся ниже.

Наконец, одна точка на графике рис. 3а (ан. 26) отклоняется от установленной закономерности, как относящаяся к анализу, в котором медь не обнаружена. Однако этот анализ является недостаточно досто-

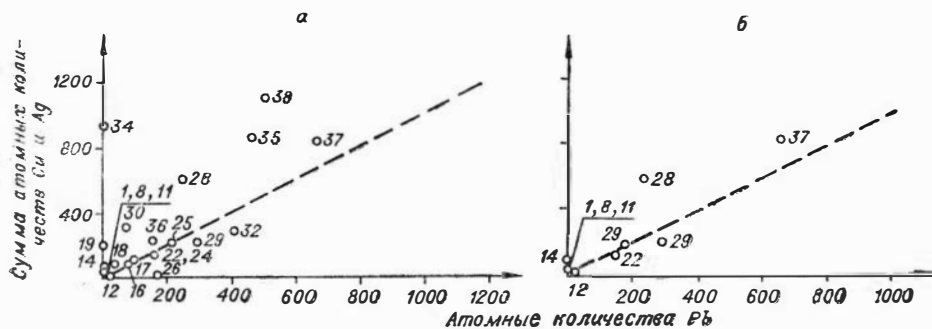


Рис. 3. Зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца в висмутине. Штриховая прямая соответствует зависимости между содержанием меди и свинца в ряду висмутинов — айкинит.

а — график построен с учетом всех анализов; б — только достоверных анализов.

верным, так как при его пересчете оказывается слишком высоким избыток висмута.

Таким образом, медь (и серебро) в висмутине может присутствовать как в форме механической примеси в виде халькопирита, так и в форме изоморфной примеси, входя в висмутин совместно со свинцом для компенсации валентности при замещении последним висмута. Кроме того, не исключена и обратно пропорциональная зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца.

Для выяснения роли сурьмы в рассматриваемом минерале был построен по всем имеющимся анализам график зависимости между содержанием сурьмы и висмута (рис. 4). Пунктирной линией показана прямая, соответствующая изоморфному замещению висмута в висмутине на сурьму. Основная масса точек располагается вблизи этой прямой несколько ниже (ан. 15, 17, 18, 20, 26, 27) или выше (ан. 23, 33) нее, и лишь два анализа (24, 35) находятся на оси абсцисс, причем анализ 35 на значительном расстоянии от всех остальных. Таким образом, судя по графику, в данном случае соотношения между сурьмой и висмутом близки к тем, которые необходимы для их изоморфных взаимоотношений в висмутине. При этом в той части анализов, которые расположены ниже прямой, очевидно, присутствуют какие-то нейтральные примеси, снижающие пропорционально содержание как висмута, так и сурьмы. В анализах же 23 и 33 скорее всего можно ожидать присутствие в качестве примеси самородного висмута.

Однако все выводы относительно взаимоотношений висмута и сурьмы в висмутине носят предварительный характер, поскольку все анализы висмутина, в которых установлены примеси сурьмы, являются недостаточно достоверными.

Селен зафиксирован всего в трех анализах (ан. 28, 32, 35). Количества его невелики, и все три анализа относятся к материалу с Северо-Коунрадского месторождения. Небольшие примеси селена в этом случае могут быть объяснены, очевидно, изоморфным замещением им серы, так как в ряду $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3$ экспериментально установлена широкая область твердых растворов от Bi_2S_3 вплоть до состава $\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{S}$. Более подробно на этом вопросе остановимся при рассмотрении природных представителей ряда $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3$.

Что касается теллура, то он устанавливается в висмутине значительно чаще и в гораздо более высоких количествах, чем селен. Обычно это

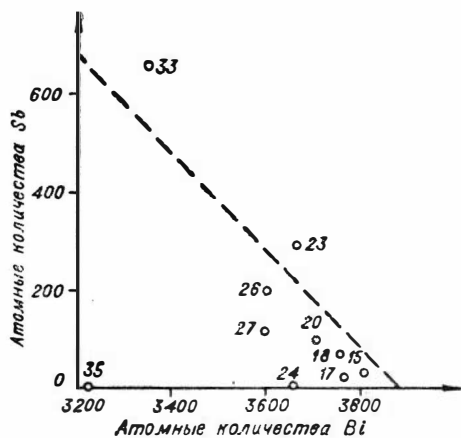


Рис. 4. Зависимость между содержанием сурьмы и висмута в висмутине. Штрихом показана обратно пропорциональная прямая с отношением $\text{Bi} : \text{Sb} = 1 : 1$.

десятые доли процента, а иногда даже целые проценты. В основном анализы висмутина, содержащего примесь теллура, относятся к образцам скарновых или близких к ним месторождений. Скорее всего в данном случае можно предполагать наличие механических примесей теллуридов висмута. Однако данных для окончательного решения этого вопроса пока недостаточно⁴.

Другие элементы в качестве примеси в висмутине встречаются редко и на них останавливаться мы не будем. Некоторый интерес, пожалуй, представляет наличие золота. Оно указано в одном анализе висмутина (ан. 8) и в трех случаях отмечено в примечаниях (ан. 2, 7, 30). Кроме того, известен анализ минерала с неизвестного месторождения,

выполненный Кенигом (Koenig, 1912), в котором указывается 12,27% золота и 2,32% серебра (также 69,50% — Bi и 15,35% — S , сумма — 99,44 — ан. 40). В примечаниях к анализу Кениг отмечает, что золото ртутью не извлекается. Более точных сведений по этому вопросу, к сожалению, нет.

Анализы висмутина рассматривались с точки зрения соответствия их стехиометрическим отношениям металл : сера (селен + теллур). Оказалось, что для большинства анализов это отношение отклоняется от $1 : 1,5$, которое требуется для формулы Bi_2S_3 . Так, только для шести анализов оно равно $1 : 1,50 \pm 0,01$, в шести случаях оно заметно выше и в 23 — ниже указанной величины (см. приложение I).

Из гистограммы распределения отношения $\text{Bi} : \text{S}$ (рис. 5), имеющей ориентировочное значение, поскольку используются все анализы, а не наиболее достоверные, видно, что в основном отклонения от стехиометрии имеют случайный характер, и им нельзя придавать в большинстве случаев какого-то самостоятельного значения. Исключение пред-

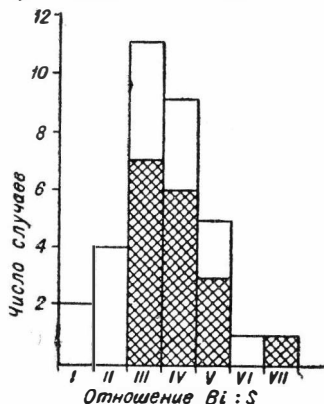
⁴ В образце висмутина из грейзена Ингодинского месторождения микроскопически наблюдались многочисленные мелкие включения тетрадимита. Анализ этого агрегата (содержащего также жозент) дал следующие результаты (ан. 39): $\text{Bi} - 72,65$; $\text{Cu} - 0,06$; $\text{Fe} - 1,45$; $\text{S} - 14,88$; $\text{Fe} - 6,42$; $\text{SiO}_2 - 1,93$; $\text{WO}_3 + \text{Nb}_2\text{O}_5 - 2,57$, сумма — 99,06%, аналитик В. М. Сендерова (Доломанова, 1959). Если же учесть крайне ограниченное замещение теллуrom серы и в галените (Синдеева, Годовиков, 1959), то предположение о том, что в материале, для которого указывается высокое содержание теллура, присутствуют самостоятельные теллуриды висмута, покажется тем более вероятным.

ставляют ан. 18, 27 и 36, для которых отношение $Bi : S$ близко к $1 : 1^{\frac{1}{2}}$. Можно предположить, что исходный материал в этом случае был близок по составу к BiS , тем более, что при рассмотрении особенностей химических анализов других свинцово-висмутовых минералов в некоторых случаях имеют место подобные же отношения. Однако для окончательного вывода по этому вопросу данных пока недостаточно, да и сами анализы выполнены очень давно и все три являются недостаточно достоверными, правда, ан. 27 — только на основании большого избытка висмута.

Установить характер изменения плотности висмутита в зависимости от состава трудно из-за недостатка сведений. Имеющийся материал позволяет считать, что плотность висмутита близка к $6,40-6,46 \text{ г/см}^3$ и с появлением в его составе свинца несколько увеличивается.

Говорить о каких-либо генетических особенностях примесей в висмутине пока еще не представляется возможным, поскольку многие

Рис. 5. Гистограмма распределения отношения $Bi : S$ в висмутине. Заштрихованы области, построенные по данным только достоверных анализов. (Общая высота прямоугольников соответствует данным, полученным на основании всех имеющихся анализов). Разряды: I — 1,325 — 1,375; II — 1,375 — 1,425; III — 1,425 — 1,475; IV — 1,475 — 1,525; V — 1,525 — 1,575; VI — 1,575 — 1,625; VII — 1,625 — 1,675.



из элементов в большинстве анализов просто не определялись. Стоит подчеркнуть, пожалуй, что наиболее резко среди всех висмутинов выделяются образцы с Северо-Коунрадского месторождения и не только своей теллураносностью, но также и гораздо более высокими, чем обычно, содержаниями меди и свинца.

В целом же необходимо отметить, что проанализированные образцы относятся преимущественно к скарновым или оловянно-вольфрамовым, т. е. сравнительно высокотемпературным месторождениям.

СЕЛЕНИСТЫЙ ВИСМУТИН $Bi_2(S, Se)_3$ И ГУНАХУАТИТ Bi_2Se_3

Прежде чем рассмотреть особенности химического состава указанных минералов, необходимо несколько остановиться на их номенклатуре. Первые исследователи богатых селеном соединений ряда $Bi_2S_3 - Bi_2Se_3$ относили их к селенистому висмутину, хотя вскоре появилось название гунахуатит (Fernandez, 1873). Название селенистый висмутин еще некоторое время сохранялось, как обозначающее селеновый аналог висмутита, но затем им стали обозначать селеносодержащие представители ряда $Bi_2S_3 - Bi_2Se_3$, более близкие к висмутину. Позже

⁵ Близкое к указанному отношение катрон : анион было установлено Германном (Herzmann, 1858) для оксисульфида висмута с Заводинского рудника (Алтай). Германн предложил назвать этот минерал карелинитом. Согласно его анализу, химический состав минерала следующий: $Bi - 91,26$; $S - 3,53$; $O - 5,21\%$, сумма $100,00\%$ (ан. 41), что соответствует формуле $Bi(S, O)$. Последующими исследованиями существование карелинита не подтвердилось. Возможно, что это связано с изучением неокисленного материала, тем более, что содержание кислорода при химических анализах сульфидов, как правило, не определяется даже в том случае, если подозревается присутствие окисленного висмута. Возможность же существования оксисульфидов висмута вряд ли можно полностью отрицать.

Кроме того, в литературе известны два анализа материала, отнесенного к висмутину из Тасны, с отношением $Bi : S$, близким к $4 : 3$. Нами этот материал отнесен к икунолиту и приводится при рассмотрении ряда лайтакарнит — икунолит.

это название практически было забыто, а за соединением Bi_2Se_3 утвердилось название гуанахуатит.

Так как хороших кристаллов гуанахуатита обнаружено не было, исследователи приняли для него по аналогии с ромбическим висмутином ромбическую сингонию. При этом считалось, что между висмутином, с одной стороны, и гуанахуатитом, с другой, существует непрерывный ряд твердых растворов. Этот взгляд сохранился во многих случаях вплоть до наших дней (Минералы, 1960; Рамдор, 1962; Штрунц, 1962).

Кроме того, с 1948 г. вслед за Рамдором (Ramdohr, 1948) начали выделять тригональную разновидность Bi_2Se_3 — парагуанахуатит, якобы образующий параморфозы по гуанахуатиту.

Исследованиями по пирсинтезу в системе Bi — Se (Parravano, 1913; Parravano, Caglioti, 1930; Семилетов, 1954; Семилетов, Пинскер, 1955; Абрикосов, Банкина, Харитонович, 1960; Бегларян, Абрикосов, 1959; Дьячкова, 1961; Вол, 1962; Хансен, Андерко, 1962; Годовиков, 1962) и работами по гидротермальной перекристаллизации (Годовиков, Кляхин, 1965) ромбическая модификация Bi_2Se_3 не была подтверждена. Основываясь на этих фактах, а также на том, что образец гуанахуатита, находящийся в коллекции Минералогического музея Ленинградского горного института (№ по каталогу 30/1), идентичен по физическим свойствам с синтетическим тригональным селенидом, представляется целесообразным выделять в рассматриваемой группе в качестве крайнего селенового минерала тригональный селенид висмута — гуанахуатит. Название же парагуанахуатит, как не соответствующее своему первоначальному смыслу и введенное много позже термина гуанахуатит, следует отбросить. В гуанахуатите селен может замещаться серой (около 20 мол. % Bi_2S_3), причем тригональная структура при этом сохраняется.

Разновидности висмутита, содержащие до 66 мол. % Bi_2Se_3 и сохраняющие ромбическую структуру, целесообразно называть селенистым висмутином. Не исключено, что вещества состава $\text{Bi}_2\text{S}_2\text{Se}$ и Bi_2SSe_2 в дальнейшем после более детального исследования их структуры и других свойств окажется необходимым выделить в самостоятельные минеральные виды, но пока, на наш взгляд, это делать преждевременно.

В литературе обнаружено девять химических анализов селенистого висмутита и гуанахуатита⁶ (см. приложение II). К сожалению, в большинстве случаев определялось содержание только главных компонентов, и в связи с этим говорить об особенностях химического состава минералов, в частности о роли в них тех или иных элементов-примесей, не представляется возможным. К тому же из приведенных анализов по крайней мере шесть приходится признать недостаточно достоверными: ан. 42 — из-за большого избытка висмута при пересчете, ан. 44 — из-за определения серы по разности и из-за чрезмерно высокого избытка ее, получающегося при пересчете, ан. 45 — из-за слишком большого избытка висмута, получающегося при пересчете, ан. 46 — из-за очень малой суммы, ан. 47 — из-за малой суммы и избытка висмута при пересчете, ан. 48 — из-за недостаточной суммы. В двух из оставшихся анализов (ан. 43 и 50) большое сомнение вызывают величины плотности, поскольку они значительно ниже плотности синтетического Bi_2Se_3 (теоретическая плотность — 7,78, Dönges, 1951), а в ан. 43 даже ниже плотности висмутита,

⁶ Небольшие количества селена отмечены в висмутите Северо-Коунрадского месторождения (см. приложение 1, ан. 28, 32), следы селена в одном образце с того же месторождения (ан. 35) и в образце из Риддартгютана (ан. 3). Поскольку количества селена в этом случае очень малы, указанные анализы рассмотрены при описании висмутита.

тогда как замещение серы селеном должно было бы повышать плотность.

Таким образом, все приведенные анализы могут иметь только ориентировочный характер и свидетельствовать в пользу того, что в природе встречается как селенистый висмутин (ан. 42, 43, 44, 45, 46, 47), содержание селена в котором может колебаться в значительном интервале, до 25, 50 вес. %, так и гуанахуатит, содержание серы в котором может доходить до 3,0 вес. % (ан. 48). При этом необходимо иметь в виду, что промежуточные представители (например, ан. 47, 48) могут быть двухфазными и состоять из предельно насыщенных селеном и серой компонентов (Дьячкова, 1961).

ИКУНОЛИТ Bi_4S_3 и ЛАЙТАКАРИИТ Bi_4Se_3

Оба минерала выделены в качестве самостоятельных видов совсем недавно, в 1959 г.: икунолит — японским исследователем А. Като, а лайтакариит — финном А. Ворма. Однако, судя по имеющимся анализам (приложение III), как тот, так и другой минерал были обнаружены много раньше.

Составу икунолита отвечают химические анализы материала с Тасны, приведенные еще в 1879 г. Домейко (Domeyko, 1879) как относящиеся к висмутину. Один анализ (52) точно соответствует икунолиту, другой — довольно близок к нему (ан. 51). Интересно, что Домейко отметил и некоторые особенности этого материала, отличающие его от висмутина, в частности, более темный, чем у висмутина, цвет, приближающийся к цвету железа. Появляющиеся при пересчете на Bi_2S_3 в обоих анализах близкие количества «избытка» висмута (около 45%) также говорят скорее за то, что в этом случае мы имеем самостоятельный минеральный вид, т. е. икунолит, а не висмутин.

Точно также до выделения в качестве самостоятельного минерального вида лайтакариит под названием гуанахуатит был описан в 1949 г., а затем в 1958 г. с некоторых месторождений Северо-Востока СССР (ан. 57, 58; более подробно см. Годовиков, Ферьянчич, 1963).

Судя по имеющимся в литературе данным, как икунолит, так и лайтакариит обычно тесно сростаются с целым рядом других минералов, поэтому анализы их чаще всего выполняются из микроаналитов и имеют, как и в случае анализов минералов ряда селенистый висмутин — гуанахуатит, ориентировочный характер.

Отличительной особенностью составов этих минералов следует признать постоянное наличие в них незначительных количеств соответственно селена или серы, исключение представляет только ан. 58.

Наличие в анализах других элементов-примесей в большинстве случаев (когда они устанавливались) легко объясняется примесью сопутствующих минералов.

Интересно, что несмотря на кристаллохимическую близость обоих минералов, соединений, промежуточных между ними, пока еще не установлено, хотя в данном случае изоморфизм вполне вероятен (Kato, 1959). Для решения этого вопроса необходимы дальнейшие исследования.

Имеющиеся два определения плотности лайтакариита показывают, что она значительно выше плотности висмутина, но ниже теоретической плотности гуанахуатита.

⁷ В русском переводе «Минералогических таблиц» Х. Штрунца (1962) А. С. Поваренных предлагает для этого минерала название скунолит, как наиболее отвечающее произношению на оригинальном языке. Однако в английском тексте Като (Kato, 1959) название минерала транскрибировано как икунолит, и мы оставляем за ним это наименование.

Известно еще несколько химических анализов, относящихся к смеси лайтакариита с другими минералами (Годовиков, Ферьянчич, 1963), но рассмотрение их здесь представляется излишним.

В 1880 г. Малле (Mallet, 1880) опубликовал результаты анализа нового селенида из Сиера де Санта Роза состава Bi_3Se , которому он дал название силаонита. Он привел следующий анализ: $\text{Bi} - 87,6$, $\text{Se} - 12,4$, сумма 100,0% (ан. 59). Позднее минерал этот был дискредитирован. Однако, судя по его составу, не исключено, что Малле анализировал материал, близкий к лайтакарииту, или смесь лайтакариита с другими минералами, хотя плотность его слишком низка — $6,45 \text{ г/см}^3$.

УСТАРАСИТ $\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$

Впервые этот минерал выделен М. С. Сахаровой (1955). Ею приведены два анализа устарасита (см. приложение IV ан. 60 и 61), причем ни один из них не может считаться достаточно достоверным, во-первых, потому, что в них низка сумма компонентов, во-вторых, при пересчете каждого из них получается слишком большой избыток висмута. При этом один из анализов (ан. 60) при пересчете оказывается ближе к формуле $\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$, если из него исключить сурьму, другой же, наоборот, ближе к этому составу, если при пересчете висмут объединить с сурьмой.

Из особенностей химического состава важно подчеркнуть, что по содержанию свинца устарасит близок к некоторым анализам, относимым к висмутину (например, ан. 32, 35, 37, 38, см. приложение I), но отличается от них крайне низким содержанием меди. Интересно также отметить постоянные и заметные примеси в нем сурьмы, вероятно, изоморфно замещающей висмут.

Наличие в химических анализах устарасита железа, мышьяка и меди объясняется, очевидно, механическими примесями халькопирита, арсенопирита и пирита, указанными М. С. Сахаровой при его описании. С этим же, возможно, связан и некоторый избыток висмута, поскольку М. С. Сахарова указывает наличие в устарасите редких включений самородного висмута, но нам представляется, что весь избыток висмута объяснить таким путем трудно.

Некоторые исследователи (Чухров, 1960; Чухров, Сендерова, Янченко, 1961) сомневаются в существовании устарасита в качестве самостоятельного минерального вида, считая, что М. С. Сахаровой изучался висмутин с субмикроскопическими включениями галенита. Основным доводом в пользу этого считается то, что устарасит не попадает по химическому составу в ряд висмутин-айкинит. Указанный вывод они распространяют и на свинецсодержащие висмутины, не содержащие меди. Отметив пока, что данные, приводимые ими в подтверждение этого вывода, недостаточно убедительны, мы более подробно остановимся на этом вопросе и, в частности, на роли свинца и меди в висмутине и свинцово-висмутовых сульфосолях, позже, в заключительной части работы, после рассмотрения всего имеющегося материала по описываемой группе минералов.

КАННИЦАРИТ $\text{PbS} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$

Канницарит впервые был выделен в качестве самостоятельного минерального вида В. Цамбонини, О. Де Фиоре и Г. Каробби (Zambonini, De Fiore, Carobbi, 1925) при исследовании ими материала с Вулкано. Позднее К. Вольфе (Wolfe, 1938), изучая материал с того же месторождения, пришел к выводу об идентичности канницарита и бис-

мутоплагионита. Так как первое название было дано раньше, он предложил исключить термин бисмутоплагионит из употребления.

В исследовании Вольфе настораживает чрезвычайно низкая плотность изученного им материала — $4,8 \text{ г/см}^3$, т. е. гораздо ниже плотности рассматриваемых минералов. Не сказано, что за образец подвергался анализу: тот же, который изучали Цамбонини, Де Фиоре и Каробби, или какой-то другой. В последнем случае вполне возможны и различия в составе, связанные с неодинаковыми условиями образования минералов в тех или иных фумаролах. Не убедителен и довод Вольфе в пользу загрязнения материала Цамбонини и др. висмутином. Он считает, что это доказывается слишком большой плотностью минерала, однако большая плотность в данном случае скорее свидетельствует в пользу более чистого материала Цамбонини и др., чем Вольфе, а не наоборот. Таким образом, канницарит Цамбонини и др. скорее всего не тот минерал, который изучался Вольфе.

Позже Дэна и др. (1950) при описании канницарита отождествили его с галенобисмутитом на основании личного сообщения Пикока, указавшего на тождественность параметров решетки и физических свойств «канницарита» Вольфе с таковыми галенобисмутита. Но так как Вольфе скорее всего имел дело не с канницаритом, а с каким-то другим минералом (наиболее вероятно с бисмутоплагионитом), это сходство может свидетельствовать лишь об идентичности минерала Вольфе с галенобисмутитом, и никак подобный вывод нельзя распространять на канницарит.

Изучая путем гидротермального синтеза группу свинцово-висмутовых сульфосолей, А. Р. Грехем, Р. М. Томпсон и Л. Г. Берри (Graham, Thompson, Berry, 1953) выделили фазу, идентичную по дебаеграмме «канницариту» Вольфе, и подчеркнули различие дебаеграммы этого материала и галенобисмутита. Таким образом, и этими исследователями оспаривается правомочность объединения бисмутоплагионита и галенобисмутита, а отнюдь не канницарита в его первоначальном понимании.

Из сказанного ясно, что пока еще никому не удалось закрыть канницарит, обнаруженный в фумаролах Вулкано Цамбонини, Де Фиоре и Каробби, но вся отмеченная выше путаница, внесенная первоначально Вольфе и усугубленная Дэна и др., привела к самым противоречивым сведениям, имеющимся по этому вопросу в современной литературе.

Некоторое время канницарит больше нигде не устанавливался, и лишь в 1958 г. он был обнаружен Ив. Костовым (Kostov, 1958) в Болгарии. Учитывая путаницу, возникшую вокруг названия канницарит, Костов, вместо того, чтобы как-то разрешить этот вопрос, еще больше усложнил его, введя вместо названия канницарит новое наименование — бончевит. Нам представляется, что для введения нового названия нет никаких оснований, и за минералом необходимо оставить его первоначальное наименование, т. е. канницарит.

Пока известно всего только два анализа канницарита (приложение IV). Оба они довольно близки к теоретическому составу $2\text{Bi}_2\text{S}_3 \cdot \text{PbS}$. Так образец из Родоп (ан. 62) имеет отношение $\text{Pb} : \text{Bi} = 1 : 4,262$ и $(\text{Pb}, \text{Cu}_2) : \text{Bi} = 1 : 3,910$, а образец из Вулкано (ан. 63) отношение $\text{Pb} : \text{Bi}$, равное $1 : 4,144$. Интересно, что отношение, более близкое к теоретической формуле, для образца из Родоп получается, если при расчете медь объединить со свинцом. Эта операция тем более оправдана, что Костов при описании исходного материала специально отмечает отсутствие в изучаемой ассоциации халькопирита или других минералов меди. Таким образом, в этом случае мы имеем дело,

очевидно, с медистым канницаритом. Для обоих образцов отмечается избыток висмута в 5,37 (ан. 62) и 4,56% (ан. 63), связанный, возможно, с включениями самородного висмута, отмечаемыми при микроскопическом описании образца из Родоп.

Плотность канницарита, как и следовало ожидать, выше плотности висмутита, хотя величина, приводимая Костовым, представляется несколько завышенной. Возможно, это связано с более значительными примесями (или избытком) висмута в образце из Родоп. Если объяснить избыток висмута присутствием самородного висмута, то при пересчете результатов ан. 62 получим плотность чистого канницарита в 6,80, а в случае ан. 63 — 6,44.

ЧИВИАТИТ $2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$

Впервые был выделен К. Раммельсбергом (Rammelsberg, 1853), давшим ему приведенную выше формулу⁸.

В современных справочниках чивиятит рассматривается или как смесь висмутита с различными медными минералами (Дэна и др., 1950; Минералы, т. I, 1961), или как смесь висмутита с свинцовыми минералами (Штрунц, 1962), или вовсе не упоминается (Рамдор, 1962).

В литературе известно два анализа чивиятита (см. приложение IV). Один из них был выполнен еще К. Раммельсбергом на материале из Перу (ан. 64), другой — К. Юханссоном (ан. 65) на материале из Фалуна. Во втором случае было установлено много селена, в связи с чем Юханссон (Johansson, 1924) предложил ввести понятие селенистый чивиятит.

Оба анализа имеют хорошую сумму компонентов, пересчитываются на формулу, близкую к $\text{Pb}_2\text{Bi}_6(\text{S}, \text{Se})_{11}$, и по этим признакам их можно было бы отнести к вполне достоверным, если бы не некоторые противоречия в приводимых величинах плотностей. Исходя из плотности не содержащего селен чивиятита, равной $6,92 \text{ г/см}^3$ (Rammelsberg, 1853), плотность материала, проанализированного Юханссоном, должна была бы быть около $7,5\text{—}7,6 \text{ г/см}^3$. Однако Юханссон дает для этого материала величину $7,15 \text{ г/см}^3$. Таким образом, или Раммельсбергом была получена чрезмерно высокая величина, или Юханссоном — чрезмерно низкая, или в обоих случаях данные не являются точными.

В то же время, если даже чивиятит в настоящее время в природе как таковой отсутствует, нельзя игнорировать того факта, что оба анализа пересчитываются на близкие формулы, так как полученные целочисленные соотношения могут представлять интерес с точки зрения выяснения возможного существования подобного соединения при более высоких температурах.

Представление о том, что чивиятит является смесью висмутита с медными минералами, попавшее в литературу (Uytenbogardt, 1949; Дэна и др., 1950; Минералы, т. I, 1960) после работы Шорта (1934), кажется не состоятельным, исходя из следующих соображений. Дело не только в том, что в имеющихся анализах чивиятита очень мало меди, но подобное представление противоречит и более высокой плотности чивиятита по сравнению с плотностью висмутита, тем более, что примеси медных сульфидов, имеющих более низкую плотность, чем висмутин, могли только понизить плотность смеси, а никак не повысить ее. Не исключено, что Шорт описался и вместо слова «медных» надо читать

⁸ В «Системе минералогии» (Дэна и др. 1950) для чивиятита почему-то дана формула $3\text{PbS} \cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$, но никаких пояснений на этот счет нет. В то же время первоначальная формула К. Раммельсберга была подтверждена и К. Юханссоном (Johansson, 1924).

«свинцовых», но его фраза: «Образцы из Чивиато (Перу), типовой местности, оказались смесью висмутита и различных медных минералов» (стр. 106), целиком цитируется и Уитенбогардтом (Uytenbogardt, 1949). Возможно также, что Шорт имел дело не с чивиатитом, а с какими-то другими сульфидами с того же месторождения. Одним словом, так или иначе замечание Шорта нельзя принять безоговорочно.

Штрунц (1962) трактует чивиатит как смесь висмутита с свинцовыми сульфидами (стр. 483). Это предположение может оказаться более близким к истине, поскольку примесь свинцовых сульфидов, в том числе и других свинцово-висмутовых сульфосолей, должна приводить к повышению плотности смеси по сравнению с плотностью висмутита. Однако никаких дополнительных доводов в пользу подобного заключения Штрунц не приводит.

Таким образом, чивиатит, очевидно, следует рассматривать как минерал, требующий дополнительного изучения. Исключать же его из рассмотрения только на основании перечисленных выше соображений представляется преждевременным.

Кроме разобранных двух анализов, в справочнике Дёлтера (Doelter, 1920) приведен еще один анализ, относящийся к чивиатиту из Перу, со ссылкой на Раймонди (в %): Bi — 26,00; Pb — 7,50; Cu — 0,30; Ag — 0,05; Fe — 16,52; S — 11,58; As — 14,50; Sb — 2,20; SiO₂ — 21,00; сумма 99,65 (ан. 66). К сожалению, проверить этот анализ по первоисточнику не удалось, а в таком виде он не пересчитывается. Серы хватает только на сульфиды железа, меди, серебра, свинца и сурьмы, а на висмут ее практически не остается.

РЕЦБАНИИТ $4PbS \cdot 5Bi_2S_3$

В настоящее время относительно применения термина рецбаниит нет единой точки зрения. Френцель (Frenzel, 1883) предложил это название⁹ для обозначения минерала из Рецбани, которому он на основании своих химических анализов приписал формулу $2PbS \cdot 5Bi_2S_3$, имея при этом в виду, что часть свинца может замещаться на медь. Позже Уэрри и Фошаг (Wherry, Foshag, 1921), пересчитав анализы Френцеля, дали в своей систематике формулу для рецбаниита $2PbS \cdot 3Bi_2S_3$, полностью исключив из его состава медь. Юханссон (Johansson, 1924₁), исследуя ряд свинцово-висмутовых сульфосолей Швеции, для рецбаниита получил формулу $3PbS \cdot Cu_2S \cdot 5Bi_2S_3$, близкую к предложенной Френцелем. Позднее эта формула была подтверждена Кохом (Koch, 1930) и вошла в большинство современных руководств (Дэна и др. 1950; Минералы, т. I, 1960).

Изучая шведские минералы, Юханссон описал такие минералы, как линдстремит, хаммарит, айкинит и гладит. Сопоставляя их с висмутином и айкинитом, он, очевидно впервые, высказал мысль об изоморфном замещении висмута в висмутине на PbCu с образованием ряда промежуточных членов этой изоморфной серии — гладита, линдстремита, хаммарита. Позже это было доказано кристаллохимическими работами Викмана (Wichman, 1953).

⁹ Еще раньше название рецбаниит было предложено Германном (Hermann, 1858) для обозначения окисульфида из Рецбани состава (%): Bi — 38,38, Cu — 4,22, Ag — 1,93, Pb — 36,01, S — 11,93, O — 7,14, сумма 99,61 (ан. 67). Германн произвел сплавление сульфида и окиси висмута, в результате чего получил однородный сплав. Это в дополнение к карелиниту позволяет вновь ставить вопрос о возможности существования в природе окисульфидов висмута, тем более, что химического определения кислорода, как правило, не производится.

В настоящее время термин рецбаниит приобрел совсем иное значение.

К. Падера (Padera, 1956), очевидно увлекшись этой идеей, не обратил внимания на различие между рецбаниитом и минералами ряда висмутин-айкинит, отмечавшееся Юханссоном, и, приведя некоторые дополнительные физические свойства минералов ряда висмутин — айкинит, предложил этот изоморфный ряд впредь именовать рецбаниитом.

Эта точка зрения без должных к тому оснований получила вскоре широкое распространение, и в настоящее время термин рецбаниит, как относящийся к одному из членов ряда висмутин-айкинит или как собирательный, определяющий промежуточные члены этого ряда, употребляется большинством исследователей (Чухров, Сендерова, Янченко, 1961; Штрунц, 1962; частично Рамдор, 1962). Правда, Рамдор более осторожно подошел к рассматриваемому вопросу и предположил, что под названием рецбаниит в настоящее время описываются два минерала: один из них принадлежит к изоморфному ряду висмутин-айкинит, другой не имеет ничего общего с этим рядом и имеет состав $2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$. Рамдор, к сожалению, не рассматривает более подробно этого вопроса. Очевидно, на написании им формулы сказалась работа Уэрри и Фошага или при пересчете анализа, произведенном самим Рамдором, была исключена из состава сульфосоли медь.

Здесь же необходимо отметить, что, очевидно, в результате описки Харкуртом (Harcourt, 1942) для рецбаниита приведена формула $2\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$, повторенная и В. И. Михеевым (1957). Эта ошибка, возможно, происходит от небрежного использования данных Уэрри и Фошага, относивших рецбаниит с формулой $2\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$ к ряду фюллэпита $2\text{PbS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$.

В литературе нами обнаружено только восемь химических анализов, относимых к рецбанииту (см. приложение V). Рассмотрение их показывает, что четыре из них являются достоверными (ан. 71, 72, 73, 75), а четыре представляются недостаточно достоверными: ан. 68 и 69 из-за недостаточной надежной суммы (кальцит определялся по разности) и из-за большого избытка висмута, появляющегося при пересчете, ан. 70 — из-за определения серы по разности, ан. 74 — из-за чрезмерно большого избытка висмута.

Данных для выяснения частоты встречи в рецбаниите тех или иных элементов примесей недостаточно, но все же можно сказать, что наиболее обычными примесями являются железо (во всех 8 ан.) и медь (в 7 ан.). Из остальных элементов присутствуют серебро и цинк в трех анализах, сурьма — в одном. В количественном отношении медь значительно преобладает над всеми элементами-примесями, в том числе и над железом. При пересчете все железо обычно связывалось в халькопирит, поскольку почти все исследователи отмечают тесное срастание описываемого ими рецбаниита с халькопиритом. Во всех дальнейших рассуждениях фигурирует медь, оставшаяся после вычитания халькопирита.

Для выяснения особенностей химического состава минерала воспользуемся графиком зависимости между содержанием в нем меди (и серебра) и свинца (рис. 6), поскольку соотношения именно этих элементов представляют наибольший интерес.

Из графика видно, что семь анализов из восьми практически располагаются на одной прямой, соответствующей обратно пропорциональной зависимости между атомными количествами меди (и серебра) и свинца в рассматриваемых анализах. Такие взаимоотношения между указанными элементами явно противоречат приведенным выше представлениям Падеры и его последователей о принадлежности всех рецбаниитов к изоморфному ряду висмутин — айкинит. В этом случае по мере увели-

чения содержания свинца количество меди (и серебра) должно было бы также увеличиваться, чего на самом деле нет (сравни с рис. 3).

Исключение представляет ан. 75, резко отскакивающий в сторону от прямой, отвечающей выявленной закономерности. Это говорит о том, что материал, соответствующий ан. 75, не может быть отождествлен с остальными минералами, относящимися к рецбанииту, и этот анализ будет рассмотрен дополнительно. Пока же отметим, что он относится к изоморфному ряду висмутин — айкинит.

Таким образом, исходя из сказанного, можно предполагать, что рецбаниитами назывались или самостоятельные минералы, в которых медь и серебро изоморфно замещают свинец, или механические смеси переменного состава, состоящие из свинцово-висмутовой сульфосоли состава $4\text{PbS} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$ и медно-висмутовой сульфосоли состава $4(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$.

В пользу существования изоморфизма говорит почти постоянная сумма атомных количеств свинца и полусуммы атомных количеств меди и серебра в большинстве из рассмотренных анализов. Так, в ан. 68 она составляет 1071, в ан. 69—1189, ан. 70—1137, ан. 71—1174, ан. 72—1158, ан. 73—1172, причем эта величина близка к числу атомов свинца (1100) в ан. 74. В пользу изоморфизма свидетельствует и то, что отношение ($\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2$) : Bi во всех анализах ближе к постоянной величине, чем отношение $\text{Pb} : \text{Bi}$, и колеблется в сравнительно небольших пределах: от 1 : 2,813 (ан. 68) до 1 : 2,404 (ан. 73). К этой же величине близко и отношение $\text{Pb} : (\text{Bi}, \text{Sb})$ в минерале с Устарасайского месторождения (1 : 2,754). В то же время для ан. 75 получаем величину, равную 1 : 1,700, т. е. резко отклоняющуюся от всех остальных.

Таким образом, состав всех рассмотренных веществ (кроме ан. 75) можно изобразить формулой $4(\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2)\text{S} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$, хотя следует отдавать себе отчет в том, что окончательно возможность изоморфизма $\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2$ не доказана, и не исключено, что в этом случае мы имеем, как уже отмечалось выше, механическую смесь различных соединений.

Если же медь и серебро исключить из анализов в виде сульфидов, то в остатке получатся формулы свинцово-висмутовых соединений, имеющие очень мало общего друг с другом. Это обстоятельство и явилось причиной ряда тех разногласий по вопросу о формуле рецбаниита, которые были отмечены выше.

Из того же графика видно, что минерал «типа рецбаниита» М. С. Сахаровой (ан. 74) по содержанию свинца близок к теоретическому составу соединения $4\text{PbS} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$. Поэтому в отличие от большинства минералов, относимых к рецбанииту и содержащих переменное количество меди (и серебра), минерал с Устарасайского месторождения может быть выделен в качестве самостоятельного минерального вида как предельное свинцово-висмутное соединение. Однако это станет возможным

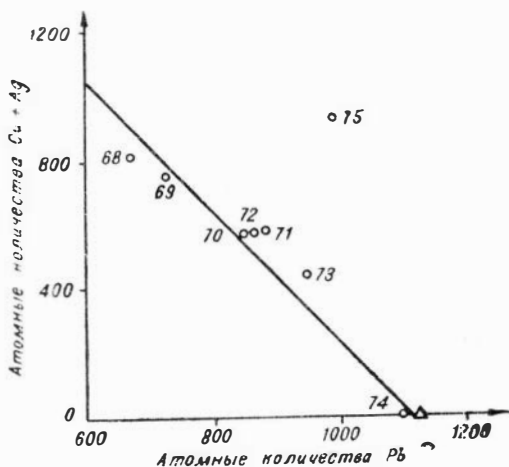


Рис. 6. Зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца в рецбаниите. Треугольником отмечено теоретическое содержание свинца в соединении $4\text{PbS} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$.

только после дополнительного его исследования, так как в приведенном М. С. Сахаровой анализе указано слишком высокое по сравнению с теоретической формулой и с количеством серы, установленной анализом, содержание висмута. Оно выше требуемого стехиометрией на 10,28%. Часть этого висмута (7,94%) М. С. Сахарова относит за счет включений самородного висмута. При этом получается формула, близкая к $4\text{PbS} \cdot 5(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_3$. Но такой подход недостаточно оправдан. Во-первых, при этом не вычитается весь избыточный против стехиометрии висмут, в этом случае формула минерала оказалась бы в соответствии с формулой галенобисмутита. Во-вторых, М. С. Сахарова отмечает, что три рентгенохимических определения отношения $\text{Pb} : \text{Bi}$ оказались очень близки между собой: 0,4; 0,4 и 0,45 и с приводимым анализом (0,41), что трудно объяснить при наличии переменного количества вростков самородного висмута, которые, судя по микрофотографиям М. С. Сахаровой, образуют довольно крупные неравномерно распределенные включения.

Данные по плотности рецбаниита очень скудны. Только С. Кох (Koch, 1930) приводит для исследованного им рецбаниита величину в $6,89 \text{ г/см}^3$ (ан. 71 и 72), подчеркивая, что для обоих проанализированных им образцов эта величина одинаковая. Если принять описанные выше взаимоотношения между медью (и серебром) и свинцом, то пересчет анализов Коха на материал, не содержащий меди и после исключения халькопирита, приведет к плотности для $4\text{PbS} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$, равной $7,12 \text{ г/см}^3$.

ГАЛЕНОВИСМУТИТ $\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$

Впервые был выделен в качестве самостоятельного минерального вида Я. Шегреном (Sjögren, 1878—1879) при изучении образцов из Нурдмаркена (Швеция). Затем был подтвержден и на ряде других месторождений — Гладхамаре (Johansson, 1924₁) и Кварцбурге (Shannon, 1921).

Позже Е. Шеннон (Shannon, 1920) выделил новый минеральный вид с составом, близким к галенобисмутиту, предложив для него название бисмутоплагионит и формулу $5\text{PbS} \cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$. Последующими исследованиями минерал сходного состава был обнаружен К. Вольфе (Wolfe, 1938) в fumarолах Вулкано¹⁰. Однако, согласно указанию Дэна и др. (1950), Пикок установил идентичность этого материала с галенобисмутитом. И в настоящее время название бисмутоплагионит или считается синонимом галенобисмутита (Ермилова, 1961; Штрунц, 1962), или не употребляется вовсе (Рамдор, 1962). В связи со сказанным химические анализы, относившиеся ранее к бисмутоплагиониту, рассматриваются нами совместно с химическими анализами галенобисмутита.

Кроме галенобисмутита, рассматривавшегося как чисто свинцово-висмутовая сульфосоль, был выделен новый минеральный вид — медь и серебросодержащий галенобисмутит — аляскаит с рудника Аляска, Колорадо (Koenig, 1881). Аляскаит был затем описан с месторождения Серре Бонет, Боливия (Ahlfeld, 1926) и дополнительно подтвержден Шортом (1934) на материале с рудника Сильвертон, Колорадо. Шорт, изучавший этот материал минералогически, описал его свойства, но не отметил неоднородности, как это он делал для некоторых других минералов, например для чивиагита.

Исследуя минералогически и рентгенографически образцы аляскаита типичных колорадских месторождений и два образца аляскаита

¹⁰ Вольфе, как уже указывалось выше, ошибочно принял этот минерал за канницарит.

из Боливии, Р. Томпсон (Thompson, 1950) пришел к выводу, что они представляют собой неоднородный материал: аляскаит из Колорадо — в основном прорастаная матильдита и айкинита, а из Боливии — содержит, судя по дебаеграмме, бенжаминит. На этом основании он предложил дискредитировать аляскаит. В связи с этим Е. Е. Костылевой (1961) аляскаит упоминается при описании матильдита как смесь различных минералов, среди которых основную роль играет матильдит. Х. Штрунцем (1962) аляскаит рассматривается частично как смесь матильдита, айкинита, тетраэдрита и халькопирита, частично как синоним бенжаминита¹¹.

Однако необходимо подчеркнуть, что хотя Томпсон и располагал несколькими образцами с типичных месторождений, в его распоряжении не было образцов, проанализированных Кёнигом, т. е. в этом случае могла повториться история с канницаритом с Вулкано (см. «канницарит»). Учитывая это, нам кажется, что достаточных оснований для дискредитации аляскаита Томпсон не имел, тем более, что однородность аляскаита много позже Кёнига была подтверждена минераграфическими исследованиями такого придирчивого ученого, как М. Шорт.

Е. Наффильд (Nuffield, 1954), полностью воспринявший взгляды Р. Томпсона, исследуя «аляскаит» из Серре Бонет (Боливия), пришел к выводу, что его образец является новым минералом состава AgBi_3S_5 , для которого он предложил название павонит. Однако и в этом случае нельзя быть полностью уверенным в том, что Наффильд имел дело именно с тем материалом, который описывал Альфельд. Наоборот, учитывая своеобразие минеральных ассоциаций Боливии (Ahfeld, Muñoz, Reyes, 1938), можно скорее допустить, что изучавшийся Наффильдом материал не имел ничего общего с аляскаитом. Это подтверждается и сопоставлением химического состава павонита Наффильда с данными, приведенными для аляскаита из Боливии Альфельдом. В анализе Альфельда указано значительно более высокое содержание свинца (14,41 вместо 5,1% по Наффильду) и более высокое содержание серебра (9,07 вместо 7,8%).

Тем более нельзя использовать данные Наффильда для опровержения возможности существования колорадского аляскаита, так как химические анализы, приводимые Кёнигом и Шортом, заметно отличаются от таковых для материала из Боливии. Учитывая выводы Томпсона об идентичности «аляскаита» Боливии бенжаминиту, правильнее было бы Наффильду назвать анализированный им минерал также бенжаминитом, который тоже недостаточно изучен. Однако Е. Наффильд предложил, как уже указывалось выше, новый термин «павонит». Под названием «павонит» минерал состава AgBi_3S_5 описан П. Рамдором (1962), считающим его синонимом «аляскаита».

Поскольку данных для дискредитации аляскаита пока, на наш взгляд, недостаточно, мы рассмотрим все его анализы, имеющиеся в нашем распоряжении, совместно с данными по галенобисмутиту, рассматривая его, как это было предложено первоначально, в качестве серебро-содержащего галенобисмутита.

¹¹ Название бенжаминит было впервые предложено Шенноном (Shannon, 1924) для минерала, близкого по составу к формуле $\text{Pb}(\text{Cu}, \text{Ag})\text{Bi}_2\text{S}_4$ с рудника Аупалау, Невада (Дэна и др., 1950). Исследуя музейный образец, по внешнему виду аналогичный описанному Шенноном, Е. Наффильд (Nuffield, 1953) пришел к выводу что он является смесью айкинита с другими серебросодержащими минералами. Второй образец дал самостоятельную дебаеграмму, но материала было мало для изучения физических свойств и проведения химического анализа. За этим материалом Наффильд первоначально предлагал сохранить название бенжаминит.

Дэна и др. (1950) указывают, что согласно личному сообщению Фронделя дебаеграмма бенжаминита аналогична таковой козалинта.

Известен также и селенистый галенобисмутит — вейбуллит, но он в силу некоторых особенностей химического состава рассматривается отдельно.

Всего в литературе найдено 14 анализов галенобисмутита и так называемых аляскаита и бенжаминита (см. приложения VI и VIa). Из них по крайней мере 10 недостаточно достоверны: анализы 81, 83, 85, 87 — из-за плохой суммы; ан. 84 — из-за определения серы по разности; ан. 86 — из-за недостаточно высокой суммы и слишком большого избытка висмута против стехиометрических отношений; ан. 80 и 89 — из-за слишком высокого избытка висмута; ан. 87 — из-за чрезмерно низкой плотности.

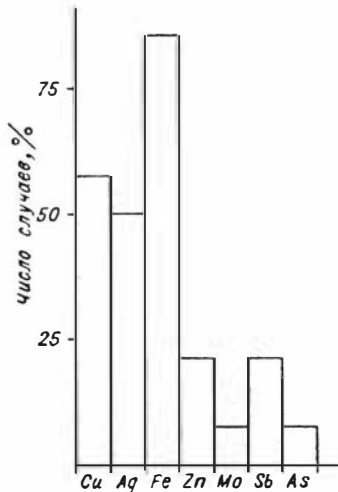


Рис. 7. Частота встречи элементов-примесей в галенобисмутите и близких к нему минералах (по 14 анализам).

Для рассматриваемых анализов наиболее характерны примеси железа, меди и серебра (рис. 7), причем в отличие от большинства предыдущих минералов примеси серебра здесь почти так же часты, как и примеси меди. В качестве минералов-примесей авторами чаще всего указываются халькопирит и пирит. Интересно, что в количественном отношении примеси меди и серебра весьма заметны, причем в некоторых анализах преобладает серебро, а в некоторых — медь.

Пересчет анализов после вычитания механических примесей халькопирита, пирита и некоторых других минералов в большинстве случаев приводит к формуле, близкой к галенобисмутиту. Однако, если в анализе отмечены медь или серебро, близкие к этой формуле результаты получаются лишь при объединении свинца, меди и серебра в катионную часть. В противном случае соотношение между свинцом и висмутом колеблется в широких пределах: от 1 : 4,791 до 1 : 1,562 (приложение VI),

так что общего между приведенными анализами чрезвычайно мало.

Зависимость между содержанием свинца и меди (с серебром) имеет в основном тот же характер, что и в рецбаниите. На приведенном графике (рис. 8) большинство анализов располагается вблизи прямой, иллюстрирующей обратно пропорциональную связь между указанными элементами с пропорцией $Pb : (Cu + Ag) = 1 : 2$. От указанной закономерности сильно отклоняются только три образца. Один из них (ан. 89) можно отнести, как мы увидим позже, к ряду висмутин — айкинит, а два других (ан. 86 и 87) принадлежат, очевидно, совсем иному материалу. Вместе с тем следует иметь в виду, что все эти три анализа недостаточно надежны.

Важно также отметить, что ни один из анализов, помещенных в приложение VI, не соответствует собственно павониту. Его частичный рентгенохимический анализ, согласно Е. Наффильду, дал следующие результаты (в %): Bi — 53,8, Ag — 7,8, Pb — 5,1, Cu — 2,8 (ан. 90).

В то же время, если в каждом из конкретных случаев и можно было бы допустить примесь самостоятельных медных или серебряных сульфидов, при рассмотрении всей совокупности анализов видно, что для них подобное предположение представляется недостаточным. Наоборот, концентрация многих из них около прямой, соответствующей обратно пропорциональной зависимости между содержанием меди (и серебра) и свинца с отношением $Pb : (Cu + Ag) = 1 : 2$, показывает, что

мы здесь можем ожидать, точно так же, как и в случае с ребцаннитом, или изоморфизма по схеме $2(\text{Cu}, \text{Ag}) \rightarrow \text{Pb}$, или присутствие механических смесей, состоящих из галенобисмутита и минерала, имеющего одну из двух формул,—либо $(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$, либо $\text{PbS} \cdot (\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$.

Важно подчеркнуть, что если даже и стоит дискредитировать аляскаит, опираясь на исследования Томпсона, то ни в коем случае нельзя игнорировать отмеченное выше соотношение между свинцом и медью

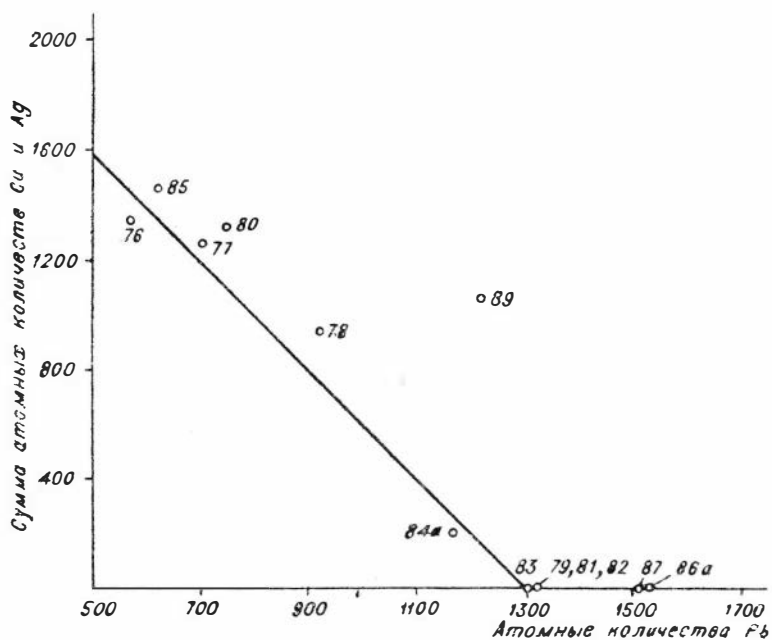


Рис. 8. Зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца в галенобисмутите, аляскаите и бенжамините.

(с серебром), свидетельствующее скорее всего в пользу того, что при каких-то иных условиях подобные соединения могли существовать. Представляется, что случаи тесных сростаний различных минералов друг с другом, особенно отвечающие определенным целочисленным отношениям компонентов, заслуживают пристального изучения именно с этой точки зрения.

Наиболее правильной величиной плотности галенобисмутита, очевидно, следует считать величину, приводимую Юханссоном (ан. 81) — $7,04$ — $7,12 \text{ г/см}^3$. Для образца аляскаита (ан. 85) Кёниг дает плотность $6,782 \text{ г/см}^3$. При пересчете ее после исключения сфалерита, халькопирита и нерастворимого остатка (см. приложение VIa) получаем величину $7,16 \text{ г/см}^3$. Однако она представляется завышенной, так как в оставшемся после вычитания указанных выше минералов материале имеются значительные примеси меди и серебра, присутствие которых должно было бы несколько снизить плотность по сравнению с величиной, приведенной для ан. 81. В то же время плотность, приведенная Шёгренем для образца из Нурдмаркена (ан. 82), равная $6,88 \text{ г/см}^3$, очевидно, слишком низка. Таким образом, наиболее близкой к истинной величине, по-видимому, следует считать цифру $7,12 \text{ г/см}^3$. Это значение сравнительно близко и к рентгеновской плотности галенобисмутита, равной $7,22 \text{ г/см}^3$.

**ВЕЙБУЛЛИТ (СЕЛЕНИСТЫЙ ГАЛЕНОБИСМУТИТ) $PbBi_2(S, Se)_4$
И ПЛАТИНИТ $PbBi_2(S, Se)_3$**

Селеносодержащий галенобисмутит известен пока с единственного месторождения в мире — Фалун в Швеции. Впервые его описал А. Аттерберг (Atterberg, 1874), а затем М. Вейбулл (Weibull, 1885). Позже для этого минерала было предложено название вейбуллит (Flink, 1910), которое за ним и закрепилось. Платинит с этого же месторождения был описан Г. Флинком (Flink, 1910) и пока больше никем не подтверждался. Химические анализы обоих минералов см. в приложениях VII и VIIa. Оба минерала рассматриваются совместно из-за содержания в них селена и из-за некоторой близости их состава к составу галенобисмутита.

Из семи обнаруженных анализов, относящихся к вейбуллит, четыре недостаточно надежны из-за слишком большого избытка висмута, выявляющегося при пересчете анализов по обычной схеме (ан. 91, 92, 97) и низкой суммы компонентов (ан. 91, 92, 96, 97).

Три наиболее надежных анализа (ан. 93, 94, 95), принадлежащие К. Юханссону, при пересчете дают формулу, близкую к $PbBi_2(S, Se)_4$. Из остальных анализов состав, близкий к селенистому галенобисмутиту, имеет только ан. 96. Другие же при пересчете обнаруживают совершенно иные соотношения компонентов. Так, например, ан. 91 при любом способе пересчета, если не вычитать избытка висмута (37,06%), приводит к формуле, аналогичной по соотношению свинца и висмута селенистому канницариту. Однако, если пересчет вести так, что серу связывать последовательно в пирит (или пирротин), галенит и висмутин, в остатке в случае пирита получаем $Bi_{4,96}Se_3$, а в случае пирротина — $Bi_{4,36}Se_3$. Интересно, что эти формулы близки к формуле лайтакарита. Первая к обычной формуле этого минерала, получающейся, если серу в нем связывать в $Bi_2S_3 - Bi_5Se_3$, вторая — к формуле, в которой сера и селен объединены — $Bi_4(S, Se)_3$. Формула, близкая к галенобисмутиту, получается только в том случае, если принять избыточный висмут как примесь самородного висмута. Однако такое допущение мало вероятно, так как присутствие самородного висмута в таком большом количестве должно было бы быть отмечено А. Аттербергом, производившим анализ. Представляется, что в данном случае анализировалась смесь лайтакарита с сульфидами (или сульфоселенидами) свинца и висмута.

Анализ 92 при пересчете также приводит к формуле селенистого канницарита. Правда, Т. Уолкер и Е. Томсон считают его смесью козалита, висмутина и гуанахуатита (Walker, Thomson, 1921). Однако получаемые стехиометрические соотношения компонентов, близкие к определенной свинцово-висмутовой сульфосоли, могут представлять, как и в случае аляскаита, особый интерес, так как описанный указанными исследователями образец может представлять собой результат распада ранее выделившегося более сложного соединения.

Пересчет ан. 97 приводит к формуле, хотя и близкой к галенобисмутиту, но все-таки заметно отличающейся от нее; отношение $Pb : Bi$ в этом анализе равно 1 : 1,774 вместо 1 : 2,000 в формуле галенобисмутита. Это наводит на мысль, что хотя указанный анализ и подтвердился пять раз (Genth, 1886), скорее всего он относится не к мономинеральному образцу, а к механической смеси нескольких минералов. К тому же следует иметь в виду, что этот материал характеризуется слишком высоким избытком висмута, что делает анализ недостаточно надежным.

Особо следует остановиться на анализе так называемого платинита (98). При его пересчете выявляется очень высокий избыток висмута — 15,80%. После вычитания этого висмута в качестве самородного пересчет

приводит к формуле $3\text{Pb}(\text{S}, \text{Se}) \cdot 2\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_3$, т. е. к селенисто-висмутовому аналогу ратита. Однако такой минерал пока никем не выделялся. В то же время, если считать висмут в формуле минерала, то серы при пересчете едва хватает на выделение халькопирита и связывание свинца в PbS . При этом в остатке получается BiSe . Поскольку взаимоотношения между серой и селеном в данном случае скорее имеют изоморфный характер, формулу минерала мы должны написать в виде $\text{Pb}(\text{S}, \text{Se})_2 \cdot 2\text{Bi}(\text{S}, \text{Se})$.

Учитывая все сказанное, можно предположить, что или мы в этом случае имеем действительно новый минерал — свинцово-висмутый субселенид, или, судя по пластинчатости и большому избытку висмута, это смесь, в которой значительную роль играет лайтакарит.

Плотность, приведенная Г. Флинком для платинита (7,98), значительно выше плотности всех рассмотренных ранее минералов. Однако если принять, что данный минерал представляет собой аналог ратита, находящийся в смеси с самородным висмутом, то после вычитания последнего величина плотности составит $7,71 \text{ г/см}^3$. Если же плотность пересчитать на чистый сульфид, то она окажется равной 6,64, т. е. будет слишком низкой.

Плотность, указываемая К. Юханссоном для вейбуллита, равна $7,10—7,19 \text{ г/см}^3$. Эта величина близка к плотности галенобисмутита, но если учесть, что в вейбуллите часть серы замещена более тяжелым селеном, она должна была бы быть большей. Наоборот, для образца с большим содержанием селена (ан. 95) Юханссон приводит меньшую величину, чем для анализа с более высоким содержанием селена. Таким образом, ни та ни другая цифры не могут рассматриваться как достаточно надежные.

ВИТТИТ $5\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$

Был описан К. Юханссоном (Johansson, 1924₂) с месторождения Фалун и после этого никем не подтверждался. Юханссон описывает его сравнительно кратко. Наиболее интересно, пожалуй, отметить, что при характеристике внешних признаков он указывает на сходство этого минерала с молибденитом, «...хотя при ближайшем рассмотрении становятся заметны различия между ними». Основное сходство по его описанию выражается в хорошей спайности в одном направлении и пластинчатости.

Химический анализ (см. приложение VIII), выполненный согласно указанию Юханссона на тщательно отобранном материале, дает при пересчете формулу, близкую к $5\text{Pb}(\text{S}, \text{Se}) \cdot 3\text{Bi}_2(\text{S}, \text{Se})_3$. При описании виттита К. Юханссон подчеркивает, что «...ввиду различия внешнего вида, а также физических свойств обоих минералов (виттита и хаммарита — А. Г.) всякая мысль об их идентичности исключается. Возможно в данном случае имеет место «диморфизм». Тем не менее очевидно, что только по сходству формул многие исследователи рассматривают виттит как селенистую разновидность хаммарита (Минералы, т. I, 1960; Штрунц, 1962). Учитывая, что и хаммарит и виттит изучались Юханссоном, его мнение по этому вопросу, по-видимому, следует считать наиболее авторитетным.

Из особенностей химического состава виттита можно отметить небольшие примеси в нем меди, серебра, железа и цинка, т. е. элементов наиболее обычных для рассматриваемой группы минералов. К сожалению, выяснить еще какие-либо его особенности по одному химическому анализу невозможно. Стоит, очевидно, лишь отметить, что при пересчете

анализа Юханссона (если железо связывать в пирит) остается небольшой избыток висмута (0,58%) и что получаемая формула несколько уклоняется от теоретической в сторону галенобисмута, причем атомное отношение сера : селен в описываемом минерале близко к 4 : 1.

Для виттита указана плотность 7,12. Исправленная плотность после вычитания 0,39% сфалерита, 0,60% пирита, 0,54% нерастворимого остатка и приведения суммы к 100% равна 7,23 г/см³. Наоборот, пересчет плотности на чистый сульфид с заменой селена на серу дает величину 6,86 г/см³.

КОЗАЛИТ $2PbS \cdot Bi_2S_3$

В качестве самостоятельного минерального вида впервые выделен Ф. Гентом в 1868 (Genth, 1868), предложившим для него формулу $2(Pb, Ag_2, Cu_2)S \cdot Bi_2S_3$. Позже этот минерал был установлен на большом числе месторождений.

В последнее время стала проявляться тенденция приписывать минералу формулу $2PbS \cdot Bi_2S_3$. Именно такой вид имеет формула козалита в «Системе минералогии» (Дэна и др., 1950), хотя структурная формула дается в виде $(Pb, Cu)_{16}Bi_{16}S_{40}$ с $Pb : Cu = 14 : 2$. При описании особенностей химического состава отмечается почти постоянное присутствие небольших количеств меди, серебра и железа, «...роль которых в формуле еще не ясна» (стр. 533). Очевидно, в связи с этим исключены из таблицы химических анализов козалита те образцы, в которых примеси меди, серебра и железа достигают значительных величин.

А. Г. Бетехтин (1950), приводя формулу козалита в виде $Pb_2Bi_2S_5$, вообще не отмечает наличия в нем примесей.

В справочнике «Минералы», т. I (1960) формула козалита также дается в виде $Pb_2Bi_2S_5$, хотя в таблице химических анализов приводятся такие, в которых количество примесей весьма значительно и достигает, например, меди — 7,38% (ан. 7), железа — 2,61%, мышьяка — 3,82% (ан. 1). Описание же особенностей химического состава козалита сводится к следующему: «Отмечается изоморфное замещение Pb небольшими (? — А. Г.) количествами Cu, Ag и Fe; Bi замещается Sb; Se и Te замещают S; в козалите из р-ка Карибу (Британская Колумбия) содержится 0,15—10,10% Au. Присутствие ряда элементов может быть объяснено механическими примесями других минералов» (стр. 392).

П. Рамдор (1962) приводит для козалита формулу $Pb_2Bi_2S_5$. Он отмечает возможные небольшие содержания Cu и Ag и заметные количества Se, однако характера этих примесей не касается.

Таким образом, большинство исследователей, по крайней мере авторов справочной литературы, в настоящее время принимают для козалита формулу $Pb_2Bi_2S_5$, т. е. из предложенной первоначально Гентом формулы $2(Pb, Ag_2, Cu_2)S \cdot Bi_2S_3$ без всякого на то основания исключаются серебро и медь.

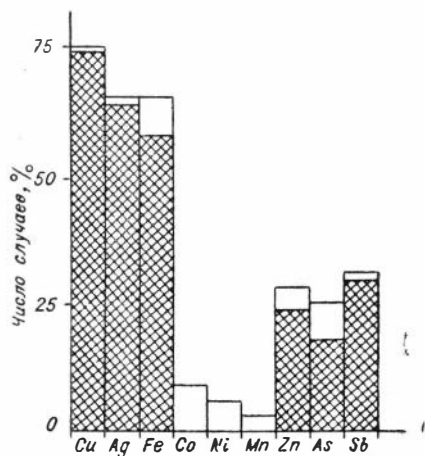
В то же время известно много анализов минералов, относимых к козалиту, в которых указываются значительные примеси ряда элементов, среди которых наибольших содержаний достигают серебро (8,43% — Hillebrand, 1883—1884; 8,70% и 9,98% — Pearce, 1883—1884; 13,47% — Le Neve Foster, 1886) и медь (3,41% — Koch, 1930, и Loczka, 1925; 5,84% — Genth, 1886, 1926; 7,38% — Koch, 1948; 7,50% — Hillebrand, 1883 — 1884; 8% — Genth, 1886; 8,78% — Koenig, 1885). Среди перечисленных исследователей имена таких опытных и добросовестных аналитиков, как Гент, Гиллебранд, Кёниг, и вряд ли можно игнорировать их анализы только потому, что они были сделаны в конце прошлого

го века, тем более, что и сравнительно недавние анализы, например Коха и Лочки, также обнаруживают значительные примеси указанных элементов.

Для выяснения особенностей химического состава описываемого минерала нами было рассмотрено 32 ан. (приложение IX), относимых исследователями к козалиту, и два анализа так называемого селенистого козалита — все, что удалось автору обнаружить в опубликованной литературе. К числу достоверных можно отнести только 17 ан., причем даже если принять достоверными анализы с суммой до 100,60; это анализы 101, 102, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 114, 115, 117, 119, 122, 123, 127, 130, 131.

Общее число элементов-примесей в козалите сравнительно невелико (рис. 9). Наиболее обычны примеси меди, серебра и железа, в единичных случаях отмечаются кобальт, никель и марганец, несколько чаще — цинк, мышьяк и сурьма. Интересно, что частота встречи элементов-примесей в козалите по данным всех

Рис. 9. Частота встречи элементов-примесей в козалите. Заштрихованы области, построенные по данным только достоверных анализов. (Общая высота прямоугольников соответствует данным, полученным для всех имеющихся анализов).



имеющихся анализов и наиболее достоверных из них практически совпадает, хотя общее число примесей в более достоверных анализах несколько меньше. Соотношения же между частотой встречи отдельных элементов в обоих случаях одинаковы за исключением разве примесей железа.

В качестве механических примесей при описании особенностей анализируемого материала чаще всего упоминается халькопирит (9 указаний из 25 примечаний). Затем идут пирит (7), сфалерит (5), пирротин (4), арсенопирит и кобальтин (4), самородный висмут (3). В одном-двух случаях указаны аляскаит, самородное золото, шмальтин, галеновисмутит, висмутин, галенит и некоторые другие.

Анализы с большим количеством мышьяка обычно относятся к материалу, содержащему согласно описанию авторов механические примеси арсенопирита или кобальтина. То, что примеси мышьяка являются не изоморфными, а обязаны механическому загрязнению козалита указанными минералами, наглядно иллюстрируется графиком зависимости содержания мышьяка в козалите от содержания в нем железа, кобальта и никеля (рис. 10). Большинство точек располагается вблизи прямой с отношением $As : (Fe + Co + Ni) = 1 : 1$. Правда, некоторые анализы несколько смещены в сторону более высокого содержания железа, кобальта и никеля, что связано, очевидно, с присутствием иных железосодержащих минералов-примесей — халькопирита, пирротина. И только один анализ (100) располагается несколько выше указанной прямой из-за более высокого содержания мышьяка, превышающего его количество, необходимое для образования арсенопирита или кобальтина. С чем связан этот «избыток» мышьяка, не ясно. Конечно, при всех этих рассуждениях мы учитывали, что практически все анализы, содержащие примеси мышьяка в количестве больше следов, за исключением ан. 127,

попадают в группу недостаточно достоверных. И в связи с этим все сказанное имеет в какой-то степени, естественно, ориентировочный характер.

Учитывая, что наиболее распространенным минералом-примесью в козалите является халькопирит, железо, оставшееся после исключения арсенопирита и кобальтина при достаточном количестве меди, обычно связывалось в этот минерал, и только если меди оказывалось недостаточно или она отсутствовала вовсе, железо относилось к пириту или пирротину. Оно пересчитывалось на эти минералы также и в тех случаях,

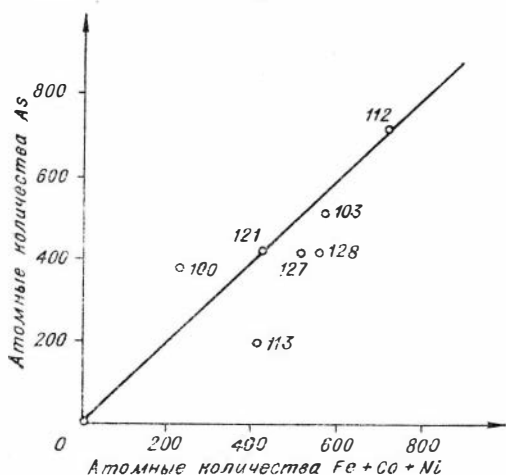


Рис. 10. Зависимость между содержанием мышьяка и содержанием железа, кобальта и никеля в козалите. На график нанесена линия, соответствующая зависимости между содержаниями этих элементов в арсенопирите (кабельтине, герсдорфите).

когда отмечалась примесь пирита или пирротина, а указания на халькопирит (при наличии меди) отсутствовали. При наличии высоких содержаний цинка в анализируемом материале обычно отмечается механическая примесь сфалерита. Поэтому весь цинк связывался в сфалерит.

Для выяснения характера примеси меди и серебра все анализы козалита, содержащие значительные количества механических включений арсенопирита, кобальтина, сфалерита, халькопирита, пирита, пирротина и др., были пересчитаны за вычетом этих минералов (см. прилож. IXa) на 100%. Одновременно были пересчитаны величины плотности козалита по приведенной ранее формуле.

Зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца

представлена графически на рис. 11a — по данным всех имеющихся анализов и 11б — наиболее достоверных из них.

Основная масса (19 из 26) точек на рис. 11a лежит вблизи прямой I'. Эта прямая наклонена к оси абсцисс под углом 45°, что указывает на обратную пропорциональную зависимость между атомным количеством свинца и суммой атомных количеств меди и серебра в минералах рассматриваемой группы, и находится чуть выше аналогичной прямой, выходящей из точки, соответствующей теоретическому составу козалита (I). Две точки располагаются вблизи подобной же прямой, выходящей из точки, соответствующей теоретическому составу виттита (II), и две — вблизи бурсаитовой прямой (III). Четыре точки (ан. 102, 115a, 127a, 128a) находятся на значительном расстоянии от каждой из указанных прямых.

Практически та же закономерность выявляется и при использовании для сопоставлений наиболее достоверных анализов (рис. 11б), причем между прямыми I и I' и на них находятся девять точек. По одной точке остается на виттитовой (II) и бурсаитовой (III) прямых и три точки (102, 115a, 127a) располагаются между перечисленными прямыми.

Для анализов, находящихся на прямых I, I' и между ними, можно получить количественные данные о связи между содержанием в них меди (и серебра) и свинца. Коэффициент корреляции для них $r = -0,999$ при критерии достоверности Фишера $t = 7,48$. Эти величины позволяют

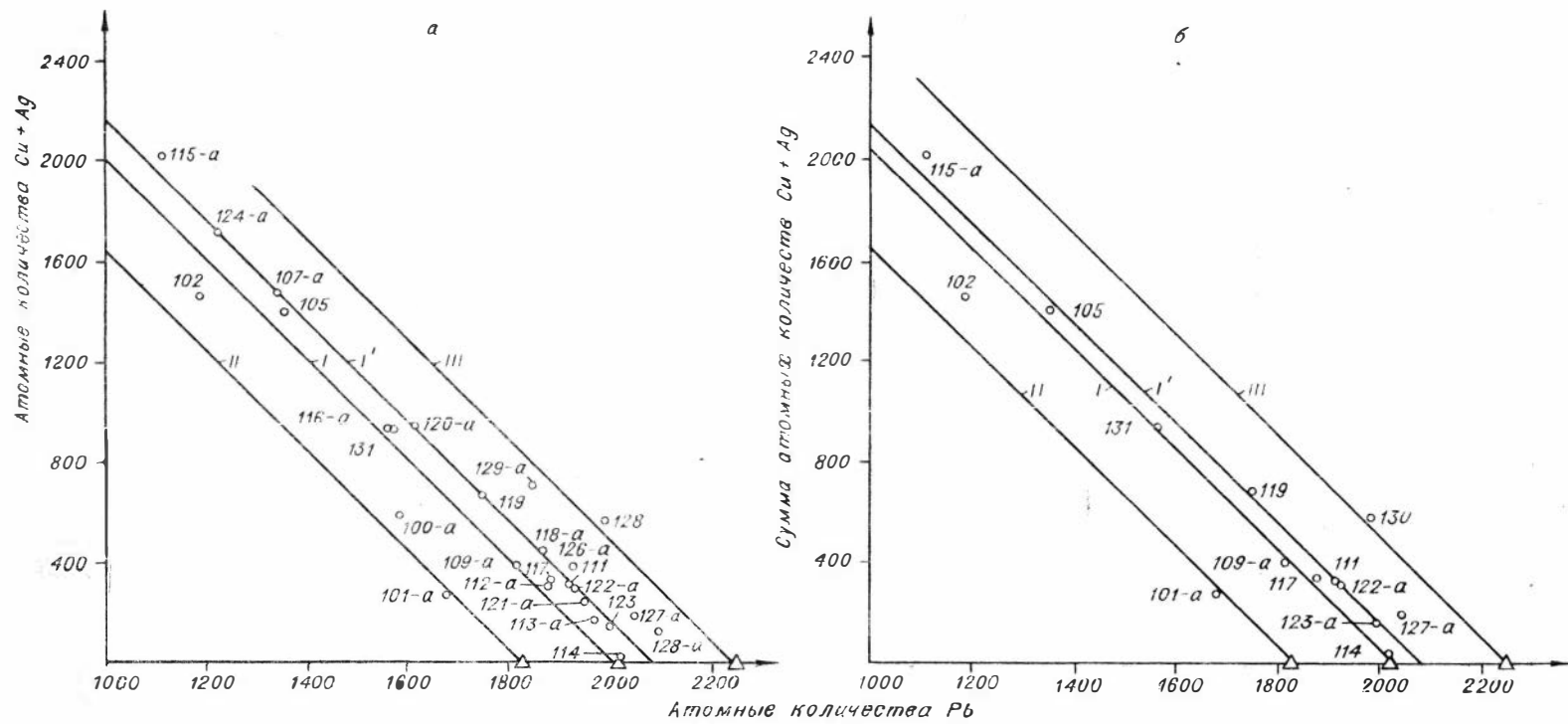


Рис. 11. Зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца в козалите.
 а — график, построенный с учетом всех имеющихся анализов; б — наиболее достоверных из них.

утверждать, что между указанными элементами существует очень сильная обратно пропорциональная зависимость, имеющая вполне реальное значение, причем более 99,9% всех анализов соответствует этой закономерности (для того чтобы 99,9% имеющихся данных подчинялось указанной закономерности, достаточно, чтобы $t=3,30$)¹².

Поскольку в данном случае медь и серебро объединяются, при сопоставлениях удобнее пользоваться не весовыми процентами элементов, а их атомными количествами (умноженными, как и во всех приложениях, на 10 000). Среднее содержание свинца при этом для всей группы оказывается равным 1802, а суммы меди и серебра — 499, при среднеквадратичных отклонениях — 202 и 405 соответственно.

Для определения наиболее вероятного содержания свинца по содержанию в данном анализе суммы меди и серебра, а также для обратных расчетов можно воспользоваться уравнениями линейной регрессии, которые будут иметь следующий вид:

$$Pb = 2052 - 0,50 (Cu + Ag);$$

$$Cu + Ag = 4103 - 2,00Pb,$$

где Pb — содержание свинца в образце, выраженное в атомных количествах $\times 10^4$;

$(Cu + Ag)$ — суммарное содержание меди и серебра в образце в атомных количествах $\times 10^4$.

Полученные в результате такого расчета содержания свинца и меди (и серебра) (табл. 3) очень близки к приведенным в химических анализах.

Таким образом, произведенные вычисления, так же как и графические построения, показывают, что содержание свинца и суммарное со-

Таблица 3

Сравнение вычисленных и найденных химическими анализами содержаний свинца и суммы меди и серебра (в атомных количествах) в козалите

№ анализа	Свинец			Медь + серебро		
	найдено	вычислено	Δ	найде-но	вычислено	Δ
105	1356	1356	0	1392	1389	+3
109a	1816	1860	-34	384	471	-87
111	1915	1893	+22	318	273	+45
114	2016	2040	-24	24	71	-47
117	1879	1887	-8	330	345	-15
119	1748	1714	+34	676	607	+69
122a	1925	1906	+19	233	253	+40
123a	1997	1976	+21	152	109	+43
131	1563	1590	-27	925	977	-52

держание меди и серебра в козалите тесно связаны обратно пропорциональной зависимостью с отношением $Pb : (Cu + Ag) = 1 : 2$.

Объяснить подобную зависимость присутствием в образцах механических примесей Cu_2S , Ag_2S или CuS не представляется возможным.

¹² При включении же в эту группу анализов 115a и 127a коэффициент корреляции $r = -0,42$ (при $t = 1,27$), т. е. становится незначимым. Поэтому особенности анализов 115a, 127a и тем более 101a должны объясняться иным путем, например, принадлежностью их к другому семейству (особенно правдоподобно это для ан. 101a, см. стр. 67) или какими-то другими причинами.

Полученные данные говорят в пользу одной из следующих возможностей:

1) существования изоморфного ряда с заменой свинца на медь и серебро при отношении $Pb : (Cu + Ag) = 1 : 2$. В этом случае состав изоморфного ряда должен был бы изображаться формулой $2Pb_{1-x}(Cu, Ag)_{2x}S \cdot Bi_2S_3$ и если название козалиит оставить за свинцовым членом этого ряда — $2PbS \cdot Bi_2S_3$, тогда всему ряду так же, как и другим его крайним членам, которыми могут быть $PbS \cdot (Cu, Ag)_2S \cdot Bi_2S_3$ или $2(Cu, Ag)_2S \cdot Bi_2S_3$, необходимо дать специальные названия;

2) существования механических смесей свинцово-висмутового минерала состава $2PbS \cdot Bi_2S_3$ с серебро-медно-свинцово-висмутовым состава $PbS \cdot (Cu, Ag)_2S \cdot Bi_2S_3$ ¹³ или серебро-медно-висмутовым состава $2(Cu, Ag)_2S \cdot Bi_2S_3$, поскольку и в этом случае отношение $Pb : (Cu + Ag) = 1 : 2$.

Возможно, что в качестве второго компонента-примеси может выступать и минерал состава $Pb_4(Cu, Ag)_4Bi_6S_{15}$ из ряда висмутин-айкинит.

Для окончательного решения этого вопроса нужны дополнительные исследования природного материала. Большую помощь при этом могут оказать также экспериментальные исследования системы $(Cu, Ag)_2S \cdot PbS \cdot Bi_2S_3 - 2PbS \cdot Bi_2S_3$, поскольку получить соответствующий природный материал может оказаться затруднительным, так как козалииты с высоким содержанием меди и серебра установлены только в американских месторождениях и в основном в конце прошлого века. Во всяком случае в настоящее время нет никаких оснований исключать из рассмотрения при описании козалиита его химические анализы, которыми устанавливаются значительные примеси меди и серебра.

Необходимо отметить, что если положить содержание меди и серебра в уравнении прямой регрессии равным нулю, то содержание свинца окажется несколько более высоким (2052) по сравнению с теоретическим содержанием его в козалиите (2015). Это находит выражение и в том, что на рис. 1а и б прямая I', вокруг которой концентрируется максимальное количество точек, сдвинута немного вверх от прямой, соответствующей теоретическому содержанию свинца в козалиите (I). Связано ли это со случайным характером выборки или отражает объективную закономерность, пока говорить рано. Объяснений этому явлению и с точки зрения особенностей химического состава также пока найти не удается.

Выявление описанной закономерной связи между содержанием меди и серебра, с одной стороны, и свинца, с другой, свидетельствует и в пользу правильности произведенных пересчетов исходных анализов, подтверждая, в частности, правомерность исключения механических примесей арсенопирита, кобальтина, сфалерита, пирита, пирротина, халькопирита в указанной ранее последовательности.

Что касается сурьмы, то ее содержание в козалиите значительно ниже содержания мышьяка и, как правило, не превышает 1%, причем среди восьми анализов, содержащих примеси сурьмы больше следов, только три отнесены к числу достоверных. Из сопоставления всех восьми анализов не удается выявить определенной зависимости между содер-

¹³ Некоторые авторы приписывают формулу $PbS \cdot Ag_2S \cdot Bi_2S_3$ шапбахиту (Михеев, 1957). Однако, согласно исследованиям П. Рамдора (Ramdohr, 1938) шапбахитом следует называть изоморфную смесь переменного состава матильдита с галенимом. Определенной формулы шапбахиту с целочисленными отношениями компонентов в этом случае придавать не имеет смысла.

жаннем сурьмы и висмута. Очевидно это связано с тем, что содержание сурьмы в каждом из анализов сопоставимо с возможной ошибкой в определении висмута. Тем не менее в большинстве пересчетов сурьма суммировалась с висмутом.

После пересчета химических анализов на минералы-примеси и PbS , а остатка — на Bi_2S_3 , часто оставался «избыток» висмута. Это понятие, как уже указывалось, условно, так как если в качестве последнего компонента пересчета принять PbS , а не Bi_2S_3 , то можно получить, например, «избыток» свинца. Таким образом, «избыток» висмута (или в других случаях «избыток» серы) характеризует соотношение между катионами и анионами в анализе, хотя избытки висмута или серы представляются в данном случае наиболее вероятными.

«Избыток» висмута установлен для семнадцати из тридцати двух анализов, т. е. довольно обычен для козалита. Наиболее часто он составляет 1—2%, реже достигает 4—6%. В отдельных случаях он оказывается очень высоким: 14,38% в ан. 104а и 30,78% в ан. 103. К сожалению, каких-либо количественных результатов по закономерному изменению плотности рассматриваемых минералов в зависимости от «избытка» висмута получить не удалось. Ясно только, что «избыток» висмута нельзя объяснить примесью самородного висмута, так как плотность смеси в этом случае должна была бы резко возрастать (плотность элементарного висмута равна $9,8 \text{ г/см}^3$), чего на самом деле не наблюдается. Наоборот, в некоторых случаях проявляется тенденция к уменьшению плотности анализируемого материала по мере увеличения содержания висмута.

Плотность минерала с составом, близким к $2PbS \cdot Bi_2S_3$, можно, по-видимому, принять равной $7,00 \text{ г/см}^3$, так как в ан. 114 («избыток» $Bi=0,96$ и $1/2$ атомных количеств $(Cu+Ag)=126$) она равна $6,94$, а в ан. 117 («избыток» $Bi=0,00$, $1/2$ атомных количеств $(Cu+Ag)=165$) — $7,011 \text{ г/см}^3$. Близко к этим величинам и большинство других измерений. Эта величина ощутимо выше рентгеновской плотности козалита, равной, согласно данным Л. Берри (Венгу, 1939), подтвержденным С. Хайаши (Hayashi, 1961), $6,86 \text{ г/см}^3$. Частичное замещение свинца на медь и серебро по схеме $(Cu, Ag)_2 \rightarrow Pb$ вряд ли может привести к заметному повышению теоретической плотности, так как вхождение меди вместо свинца снижает молекулярный вес соединения, а в случае вхождения серебра он хотя и увеличивается, но крайне незначительно. Поэтому причина завышенной плотности козалита остается не ясной.

Анализ 103 а, имеющий максимальный избыток Bi (30,78%, после пересчета на 100% за исключением примесей пирита и арсенопирита), относится к очень своеобразному материалу, отличающемуся от обычного козалита своей пластинчатостью, приближающей его, согласно Е. А. Радкевич, к молибдениту. Возможно, это какой-то новый минерал, в котором висмут находится формально в одно- или двухвалентном состоянии, приближающийся к пластинчатым (ромбоэдрическим) икунолиту и лайтакарииту. От последних он отличается высоким содержанием свинца. Анализ его рассчитывается на формулу $7PbS \cdot 8BiS^{14}$.

Сопоставление химических составов различных козалитов выявляет некоторые их региональные особенности (табл. 4). Так, для образцов из Колорадо характерны наиболее высокие содержания меди и серебра.

¹⁴ Выделение этого минерала в качестве самостоятельного минерального вида представляется тем более обоснованным, что субсульфид висмута, богатый свинцом — свинцовистый икунолит с составом $(Bi, Pb)_{3,82}(S, Se, Te)_3$ — недавно установлен в Кингсгейте, Австралия (Markham, 1962). Он имеет также молибденитоподобный внешний вид, а по дебаграмме аналогичен икунолиту из Японии.

Особенности химического состава козалита различных месторождений

Месторождение	Сu. вес. %	Ag. вес. %	$\frac{1}{2}$ атомн. колич. Сu + Ag. входящих в состав минерала (после иск- лючения примесей)	Прочие примеси. %	Аналитик
<i>Колорадо</i>					
Гладиатор [102]	5,84	5,75	726	Sb—0,81, Zn—0,58	Гент, 1886 г. (среднее из двух анали- зов)
Аляска (105)	8,00	1,44	696	Sb—0,29	То же
Аляска [107a]	8,50	1,40	734	CuFeS ₂ —1,71; нер. ост.—0,60	Кениг, 1885 г.
Комсток (115a)	7,68	8,63	1004	FeS ₂ —1,50	Гиллебранд, 1883—1884 гг.
Янки Герл [116a]	—	10,04	931	CuFeS ₂ —10,81 FeS ₂ —2,56	Пирс, 1884 г.
Янки Герл (131)	—	9,98	462		То же
<i>Румыния</i>					
Рецбанья [100a]	3,59	0,23	293	FeAsS—3,44 ZnS—0,37	Френцель, 1874 г.
Рецбанья (127a)	0,23	1,67	95	FeAsS—7,19 CuFeS ₂ —1,67	То же
Рецбанья [128a]	—	1,41	66	ZnS—2,30 FeAsS—7,19 CuFeS ₂ —2,28	»
Васкё [118a]	2,71	0,33	228	ZnS—2,30 CuFeS ₂ —1,85	Кох, 1930 г.
Васкё (119)	3,41	0,32	222	Fe—0,68	Лочка, 1926 г.
Васкё [126a]	2,45	—	193	CuFeS ₂ —0,82; нер. ост.—0,74	Варинец, 1935 г.
Догнэчка [120a]	6,01	—	473	CuFeS ₂ —4,96; нер. ост.—0,65	Кох, 1948 г.
<i>Канада</i>					
(Онтарио)					
Мак-Елрой [109a]	2,29	0,26	192	FeS ₂ —1,42; нер. ост.—0,64	Тодд, 1921 г.
Мак-Елрой (111)	2,02	—	159		То же
Онтарио [113a]	—	1,80	84	CuFeS ₂ —3,69 (Fe, Co, Ni) AsS—2,73; нер. ост.—0,14	»
<i>Мексика</i>					
Козала [112a]	—	3,21	146	CoAsS—11,89	Гент, 1868 г.
Козала [121a]	—	2,65	123	CoAsS—6,79 CuFeS ₂ —2,86	То же
Лорето Майн [124a]	1,56	15,83	856	ZnS—0,90 SiO ₂ —9,01 п. п. п.—0,76	Тилден, 1886 г.

Месторождение	Cu, вес. %	Ag, вес. %	$\frac{1}{2}$ атомн. колич. Cu+Ag, входящих в состав минерала (после исключения прим. сей)	Прочие примеси, %	Аналитик
<i>Швеция</i>					
Нурдмарк [104a]	—	—	—	ZnS—8,23 FeS ₂ —1,57	Тодд, 1921 г.
Бьелкасгрубе (106a)	—	—	—	CuFeS ₂ —0,52 FeS—2,08	Шегрен 1878— 1879 гг.
Бьелкасгрубе (108a)	—	—	—	Mn—0,09 FeS—8,07	Лундстрем, 1874 г.
Бьелкасгрубе (110a)	—	—	—	FeS—1,05 нер. ост.—2,19	Шегрен, 1878—1879 гг.

Примечание. В квадратные скобки взяты номера образцов, значительно отклоняющихся от состава $Me_2X_2S_5$ или обнаруживающих при пересчете значительный «избыток» висмута.

По этому признаку они четко отличаются от образцов других месторождений. Из остальных анализов только два тяготеют к этой группе — образец из Догнэчки (Румыния) и из Лорето Майн (Мексика).

Другую группу составляют шесть анализов образцов из Румынии. В них меди и серебра значительно меньше, чем в колорадских, но тем не менее оба элемента присутствуют в достаточно ощутимых количествах. Близки к румынским образцы из Канады и Мексики, за исключением образца из Лорето Майн (123a), но содержания в них меди и серебра еще более низкие. Наконец, своеобразную группу составляют минералы из Швеции, в которых нет ни меди, ни серебра и которые по своему составу ближе всего к формуле $2PbS \cdot Bi_2S_3$.

Интересно отметить, что в указанные группы попадают образцы, анализированные различными аналитиками и в разное время. Наиболее хорошо это видно на группах образцов из Колорадо, Румынии и Швеции.

Очевидно, подмеченная закономерность является следствием особенностей процесса минералообразования на том или ином месторождении. Такой вывод подтверждается и характером минералов-примесей, устанавливаемых для того или иного образца. Так, наиболее высокие содержания меди и серебра характерны для образцов, в которых при пересчете выделяются халькопирит и пирит и, как правило, не устанавливаются арсенопирит или кобальтин. Именно в такой ассоциации находятся и образцы из Догнэчки и Лорето Майн, отличающиеся от остальных румынских образцов отсутствием арсенопирита и кобальтина. Для козалинтов, тесно ассоциирующих с арсенопиритом и кобальтином, хотя и характерны примеси меди и серебра, но они уже значительно ниже.

Для образцов из Швеции, характеризующихся отсутствием в химическом составе меди и серебра, указывается в ассоциации пирротин, ранее нигде не отмечавшийся, и практическое отсутствие халькопирита. На первый взгляд этому противоречит анализ 104a, но и в этом случае отмечается, что халькопирит присутствует в ничтожном количестве. Ничтожно малое содержание меди характерно для образца из Центрального Казахстана (ан. 114), для которого также отмечается наличие в ассоциации пирротина и отсутствие арсенопирита.

Особую группу, возможно, составляют образцы, для которых отмечается примесь вольфрамовых минералов. Так, в обр. 101а из Дие Парк (Cu — 1,19 и Ag — 0,82% или 132 в $\frac{1}{2}$ Cu + Ag) отмечается присутствие гюбнерита, в образце из Гоцделчевско (ан. 129а) — шеелита (Cu — 3,32, Ag — 2,02% или 344 в $\frac{1}{2}$ Cu + Ag), в образце из Букуки (ан. 117) — примесь вольфрамита (Cu — 1,66 и Ag — 0,75% или 330 в $\frac{1}{2}$ Cu + Ag). Во всех этих анализах близки содержания меди и серебра, но для окончательного объединения их в единую группу данных пока недостаточно.

Данные об особенностях минералогических ассоциаций других образцов скудны.

Попытки выяснить связь между типом месторождения и отношениями в образцах $Bi : S$ или $Me : X$ ни к каким определенным результатам не привели.

Селенистый козалит впервые в качестве самостоятельной разновидности выделен Эдманом (Edman, 1941). Однако Эдман подчеркивает тесное срастание этого минерала с различными рудными минералами (галенитом, самородным висмутом, штернбергитом, пирротинном, галенобисмутитом, халькопиритом, неизвестным минералом) и, по существу, выделяет его условно, тем более, что и результаты анализа не соответствуют формуле козалита (см. приложения IX и IXа, ан. 132). Так, по отношению $Pb : (Bi, Sb) = 0,816$ или $(Pb, Ag_2) : (Bi, Sb) = 0,796$ он скорее должен являться селенистым бурсаитом, чем селенистым козалитом. Плотность его после исключения примесей и соответствующего пересчета равна $7,16 \text{ г/см}^3$, т. е. выше плотности минерала состава $2 PbS \cdot Bi_2S_3$. Более высокая плотность может быть связана с замещением серы на более тяжелый селен или с тем, что в данном случае мы имеем не козалит, а бурсаит, плотность которого должна быть, учитывая общее направление изменения плотности в сложных свинцово-висмутовых сульфидах, несколько выше, чем у соединения $2 PbS \cdot Bi_2S_3$.

Другой образец так называемого селенистого козалита (ан. 131) по химическому составу также далек от козалита и по отношению $Me : X = 1,477$ находится между виттитом и галенобисмутитом, приближаясь к висмутовому аналогу джемсонита. Интересно, что Грасселли (Grasseilly, 1948), описавший этот образец, не настаивает на том, что минерал является козалитом. Из других его особенностей стоит отметить ощутимые количества в нем примеси меди и серебра.

БУРСАИТ $5PbS \cdot 2Bi_2S_3$

Впервые выделен П. Вайкерслотом (Wickersloth, 1955), однако подлинника его работы с описанием бурсаита найти не удалось. Имеющееся же описание (Bull Soc. Fr. Minér. t. 79, 1956) крайне сжато, химическо-го анализа нет и не ясно, имеется ли он у автора.

Как уже было показано (см. «Козалит») к бурсаиту можно было бы отнести на основании результатов химического анализа три образца козалита (ан. 129—131) и один образец так называемого селенистого козалита (ан. 133). Вопрос же о целесообразности его выделения в качестве самостоятельного минерального вида будет рассмотрен ниже.

Здесь отметим еще следующее. Изучая однородность лиллианита, Эммонс, Ирвинг, Луфлайн (Emmons, Irving, Longhlin, 1927) привели два анализа смесей висмутита, галенита и аргентита. Один из этих анализов, если серебро в нем объединить со свинцом (табл. 5), по валовому составу оказывается близким к формуле бурсаита. Таким образом, если изучавшуюся названными исследователями тонкую смесь различных сульфидов отнести к продукту распада сложного первичного мине-

Химический анализ (ан. [134]) смеси галенита, висмутина и аргентита из Беллорд (Emmons, Irving, Loughlin, 1927)

Компоненты	Вес, %	Атомн. кол-во	CuFeS ₂	FeS	Ag ₂ S	PbS	Избыток Bi в вес. %	Bi:S	Pb:Bi и формула	(Pb, Ag ₂):Bi и формула
Bi	37,11	1776	—	—	—	—	3,36	1:1,365	1:0,997	1:0,815
Pb	36,90	1781	—	—	—	1781	—	Bi ₂ S _{2,72}	Pb ₂ Bi _{1,994}	(Pb, Ag ₂) ₅ Bi _{4,075}
Cu	0,08	12	12	20	795	—	—	—	S _{1,721}	—
Ag	8,58	795	—	—	795	—	—	—	2PbS·Bi ₂ S ₃	5(Pb, Ag ₂)S · 2Bi ₂ S ₃
Fe	0,18	32	12	—	3	1	—	—	—	—
S	15,18	4648	24	20	98	78	—	—	—	—
Кальцит	0,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Нер. ост.	1,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	99,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—

рала, то им должен являться не лиллианит, как полагали авторы, а бурсаит. Следует также учитывать, что приведенный в табл. 5 анализ недостаточно надежен из-за низкой суммы и большого избытка висмута.

ЛИЛЛИАНИТ 3PbS · Bi₂S₃

Впервые был описан Х. Ф. и Х. А. Келеррами (H. F. and H. A. Keller, 1885) как новая разновидность кобеллита состава 3(Pb, Ag₂)S · Bi₂S₃. Позже минерал несколько раз подтверждался и закрывался на ряде месторождений, причем для образца из Иллиарви с содержанием селена в 2,97% было предложено название селенистого лиллианита (Borgström, 1910). Химические анализы материала, относимого к лиллианиту, обнаруженные в литературе, приведены в приложениях X и X а.

Четыре из девяти анализов оказались недостаточно достоверными, главным образом из-за недостатка суммы (ан. 139, 141, 142, 143). И еще два вызывают сомнения: ан. 137 — из-за чрезмерно высокого содержания примесей посторонних минералов и ан. 138 — из-за чрезмерно высокого избытка висмута. Поэтому все выводы по химическим особенностям лиллианита следует рассматривать как предварительные.

Прежде всего надо отметить, что четыре из рассматриваемых анализов по отношению Me : X (см. прилож. X и X а) значительно отличаются от теоретической формулы лиллианита с Me : X = 0,667. Ан. 135 по отношению Me : X следует скорее отнести к бурсаиту, анализы же 136, 137 и 138 находятся где-то между бурсаитом и лиллианитом. Среди них и анализ так называемого селенистого лиллианита (ан. 136). Два из этих образцов (ан. 136 и 137) отличаются и другими свойствами. Так, для материала, которому соответствует ан. 136, приводится очень высокая плотность — 7,22. Если же плотность его пересчитать после исключения примесей халькопирита и сфалерита, то она возрастет до 7,45 (см. приложение X а), что совсем уже не укладывается ни в какие допустимые пределы. Ан. 137 характеризуется чрезвычайно высоким содержанием не только нерастворимого остатка (63,65%) но и железа, количество которого после пересчета составляет 9,93% (см. прилож. X а). Если железо связать в сульфид состава FeS, то получится отношение Bi : S = 1 : 1, если же принять, что оно заимствовано из каких-то других минералов, то отношение Bi : S будет равно 1 : 2,208, т. е. будет совершенно необычным.

Причины отклонения анализов 138 и 139 от стехиометрической формулы лиллианита не совсем ясны, тем более, что последующие работы (Walker, Thomson, 1921; Emmons, Irving, Longhlin, 1927) подтвердили однородность материала из Гладхаммара.

Наиболее близок к теоретическому составу материал из Лиллиан (ан. 141). Это тем более примечательно, что ан. 141 является средним из трех анализов различных образцов, отклонения в содержании основных компонентов в которых незначительны. Следует только отметить слишком низкую сумму этих анализов. Близки к теоретическому составу и анализы 140 и 143 из Гладхаммара, причем последний относится к тщательно микроскопически изученному материалу. Приближается к типичной формуле и ан. 139, образца также из Гладхаммара. Эти анализы обнаруживают большую близость между собой, если медь и серебро в них при пересчете объединять со свинцом. В противном случае разброс в отношениях $Pb : Bi$ или $Pb : (Bi, Sb)$ значительно возрастет.

Таким образом, из девяти анализов максимум четыре по своему химическому составу близки к теоретической формуле лиллианита. К остальным же следует подходить с осторожностью до новых исследований соответствующего им материала.

Из элементов-примесей для лиллианита наиболее характерны медь, серебро, цинк и железо. Реже встречается сурьма. Наибольший интерес представляют примеси меди, серебра и сурьмы, причем содержание меди в ан. 135 достигает 20,86%, в остальных случаях оно много ниже.

Между содержанием меди и серебра, с одной стороны, и содержанием свинца — с другой, выявляется та же зависимость, которая отмечалась и для ряда предыдущих минералов, т. е. обратно пропорциональная связь между атомными количествами меди и серебра и атомными количествами свинца (рис. 12).

Что касается сурьмы, то никаких определенных выводов относительно связи ее с тем или иным элементом сделать не удастся.

ВАРТАИТ И ГУНГАРРИТ $4PbS \cdot Bi_2S_3$

Название гунгаррит было введено в 1924 г. Симпсоном (Simpson) для материала с Лейк-Гунгарри, а название вартаит несколько позже для материала из Васке Лочкой (Loczsa, 1926). Однако Кох (Koch, 1930) считает, что несмотря на более позднее появление статьи Лочки, приоритет следует оставить за названием вартаит, поскольку оно было предложено Креннером на заседании Венгерской Академии наук еще 9 января 1909 г., но публикация соответствующего материала по каким-то причинам задержалась на длительное время. Оба минерала описаны

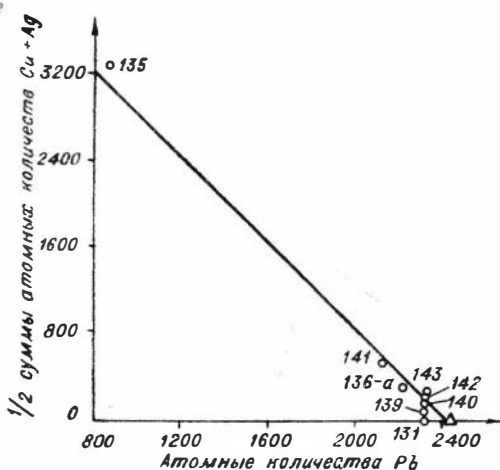


Рис. 12. Зависимость между содержанием меди и серебра и содержанием свинца в лиллианите. Прямая выходит из точки, соответствующей теоретическому составу лиллианита (обведена треугольником) и наклонена к оси абсцисс под углом в 45° .

недостаточно подробно, хотя есть предположительные указания на то, что вартаит скорее всего ромбический, а гунгаррит предположительно моноклинный. Однако рассматривать оба названия как относящиеся к разным модификациям (Дэна и др., 1950), очевидно преждевременно, и для обозначения материала состава $4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$ следует сохранить, как это предлагает Кох, одно название — вартаит, считая, что кристаллографические данные нуждаются в уточнении и относя его к ромбической или моноклинной сингонии.

Сопоставление химических составов обоих образцов (см. прилож. XI) показывает, что они очень сходны между собой и близко отвечают теоретической формуле $4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$. Однако образец из Лейк-Гунгарри имеет значительно более высокую плотность по сравнению с образцом из Васке. В то же время он несколько чище образца из Васке, в нем отсутствует примесь меди и содержится меньше серебра. Как указывает Симпсон, он приводит эти данные после вычитания 1,72% кварца, от которого не удалось избавиться никакими путями. Остается только неясным, пересчитал ли он также и плотность. Если же приведенную им величину пересчитать с учетом примеси кварца, то получится еще более высокая величина — $7,52 \text{ г/см}^3$, расхождения между которой и величиной для образца из Васке в этом случае еще труднее объяснить.

Важно отметить, что оба анализа по всем критериям кроме величины плотности¹⁵, представляются достаточно надежными, но как в том, так и в другом случае устанавливаются небольшие примеси серебра, а в ан. 145, кроме того, и меди. Какая из двух приводимых величин плотности больше соответствует материалу состава $4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$, могут показать лишь дополнительные исследования.

Минерал под названием гунгаррит описывается также П. В. Покровским (1941), однако никакой уверенности в том, что это действительно гунгаррит, нет, тем более, что он не приводит и данных химического анализа.

БЕЕГЕРИТ $6\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$

Впервые был выделен Г. А. Кенигом (Koenig, 1881). Имеющиеся анализы беегерита сведены в прилож. XII. Из них по существу, только один анализ материала из рудника Юлия (ан. 146) является надежным. Остальные имеют или слишком низкую сумму (ан. 147), или, наоборот, слишком высокую сумму (ан. 148), а в ан. 149 сера определена по разности. Поэтому, строго говоря, они все могут использоваться лишь как ориентировочные, в том числе и анализ беегерита, послуживший основой для его выделения (ан. 148), так как сумма в нем равна 101,49%.

Такое состояние анализов не позволяет сделать каких-либо количественных выводов и вынести суждение о характере примесей в беегерите, хотя для некоторых образцов они и значительны.

Следует отметить очень близкое совпадение состава материала из Юлии с теоретической формулой беегерита. В других анализах обращает на себя внимание присутствие примеси меди и особенно серебра, содержание которого в ан. 149 достигает 15,40%.

Плотность образцов с Юлии и с Болтик Лоуд близка и равна $7,27 \text{ г/см}^3$, тогда как для образца из Урэй (ан. 147) приводится значительно более низкая величина плотности, что связано, очевидно, с большим количеством механических примесей других минералов.

¹⁵ Различия в плотности минералов из Лейк Гунгарри и Васке могут явиться результатом действительного существования двух модификаций $4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$. Однако для окончательного выяснения этого необходимы дополнительные данные.

Известен в качестве самостоятельного минерального вида очень давно. Наиболее полно химический состав его был рассмотрен в 1912—1922 гг. В. И. Вернадским (1959). В. И. Вернадский не только отмечал, что наиболее обычными примесями галенита являются Ag, Cu, Fe, Sb, Bi и Se, но и рассматривал каждую из примесей в отдельности, пытаясь установить, имеет она изоморфный характер или является следствием механического загрязнения анализируемого материала другими минералами. При этом примесь серебра он считал изоморфной и предлагал формулу для галенита $(Pb, Ag_2)S$ как более отвечающую действительному положению вещей. Согласно В. И. Вернадскому, нет галенита, в котором бы не устанавливалось серебро, если не химическим, то спектральным методом. Он допускал также, что и медь подобно серебру входит в состав галенита.

Форма вхождения железа в галенит для него была не совсем ясна, хотя В. И. Вернадский и отметил, что железо более обычно для мелкозернистого материала. Относительно примеси сурьмы он допускал две возможности: механическая примесь сурьмяных сульфосолей и «молекулярный раствор в PbS», отмечая, что этот материал обычно содержит, помимо сурьмы, примеси железа и мышьяка.

Висмутосодержащие галениты В. И. Вернадский считал редкими, но ввиду высокого содержания в них висмута (до 1,6%) и появления у галенитов нового качества — спайности по октаэдру — предлагал выделять их отдельно вслед за Шрауфом (Shrauf, 1871) как паракобеллиты. Относительно цинка он допускал две возможности: изоморфную смесь $PbS-ZnS$ или ряд двойных соединений $m PbS \cdot n ZnS$. Богатые оловом галениты он также предлагал выделить отдельно.

Особо В. И. Вернадский останавливается на таком свойстве галенита, как избыток серы против формулы PbS , наблюдаемый во многих случаях. Отмечая появление у некоторых из этих образцов нового свойства — горючести и то, что PbS и S в так называемых джонстонитах образуют тончайшие смеси, свойства которых нельзя охарактеризовать просто механической смесью галенита и серы, В. И. Вернадский допускал возможность их образования как результат распада ранее возникших многосернистых соединений свинца. Отдельно отмечает он селенитый галенит. Кроме того, указывает на возможные примеси Au, Mn, K, Na, Ca, Mg.

Особо следует отметить указание В. И. Вернадского на способность галенита окклюдировать газы и водяные пары. Он подчеркивал также генетическое значение отдельных примесей, отмечая, что те или иные из них характерны для галенита определенного происхождения.

После В. И. Вернадского в крупных сводках по минералогии и в минералогических справочниках химический состав галенита, как правило, рассматривался поверхностно.

Так, в «Системе минералогии» (Дэна и др., 1950) о химическом составе галенита находим следующее: «Серебро, обнаруживаемое во многих анализах галенита, обязано, как предполагают, примесям минералов серебра, таких, как аргентит, тетраэдрит. As и Sb обязаны примесям. В анализах отмечались Se, Fe, Zn, Cd, Cu и иногда Au, Pt, но без доказательств, что анализируемый материал был однородным» (стр. 240).

Немногом более полную характеристику химического состава галенита находим у Е. Е. Костылевой (1960). Так, она отмечает существование непрерывного изоморфного ряда галенит — клаусталит и пишет далее: «Галенит часто содержит примесь Ag, обычно до 0,1%, реже

0,5—1% и выше, что частью обусловлено наличием включений сульфидов серебра, частью присутствием AgBiS_2 в твердом растворе. Анализы показывают также наличие Zn , Cd , Sb , Bi , Cu , Sn , In , Tl , Au , Pt и др. (обычно не более десятых долей процента); в большинстве случаев это связано с наличием примесей других минералов: сфалерита, буланжерита, халькопирита и др.» (стр. 187). При этом последние данные приведены со ссылкой на работу Ю. С. Нестеровой (1958).

При рассмотрении особенностей химического состава галенита Ю. С. Нестерова (1958) пересчитала имевшиеся в ее распоряжении 40 химических анализов на различные минералы-миналы. В результате она пришла к выводу, что все примеси к галениту носят механический характер. В заключении Ю. С. Нестерова пишет: «... Ag , Bi , As , Sb , Sn , Cu , Fe не входят в решетку галенита, а принадлежат самостоятельным минералам, тончайшая примесь которых часто не может быть обнаружена микроскопическим исследованием, при недостаточно сильном увеличении». Однако, как было показано (Годовиков, Сахарова, 1963), работа Ю. С. Нестеровой страдает большим количеством серьезных недостатков.

Наконец, П. Рамдор (1962), касаясь химического состава галенита, пишет: «Химический состав PbS почти во всех случаях вполне соответствует этой формуле. Весьма небольшие количества селена и теллура могут замещать серу (иногда до 18% селена). Почти всегда устанавливаемое содержание серебра может рассматриваться лишь до 0,1%, как входящее в молекулу в виде Ag_2S ; выходящие за этот предел содержания в низкотемпературных галенитах, а также превышающие 0,01%, объясняются грубо- или тонкораспределенными механическими примесями... других рудных минералов» (стр. 620).

Особо Рамдор рассматривает роль серебра, а также частично меди и сурьмы в галените при описании различных типов сростаний с ним. В связи с этим он выделяет минералы — «носители серебра» — фрейбергит, штроейерит, прустит и несколько сульфосолей, которые точно диагностировать не удалось. Аргентит он считает редким «носителем серебра» в галените. Во многих случаях эти минералы в галените образуют вытянутые выделения, ориентированные в определенном направлении, чаще всего вдоль спайности. В высокотемпературных галенитах носителем серебра Рамдор считает α -матильдит, который часто выделяется в виде зростков шапбахита при понижении температуры, вызывая отдельность галенита по (111).

Кроме перечисленных минералов, в качестве наиболее частых примесей к галениту Рамдор отмечает медную блеклую руду и бурнонит.

В опубликованной литературе нами обнаружено 170 химических анализов галенита (приложение XIII). На самом же деле их, очевидно, значительно больше, так как часть их несомненно, не опубликована, а часть, возможно, пропущена автором при сборе материала. Однако и на собранном материале, как нам кажется, удалось установить некоторые особенности химического состава галенита и наметить пути, по которым необходимо вести дальнейшие исследования в этом направлении.

В приложении XIII анализы располагаются в следующем порядке. Сначала идут висмутсодержащие галениты в порядке уменьшения процентного содержания в них висмута, затем — серебросодержащие галениты, в которых установлено серебро, но не обнаружен висмут, также в порядке уменьшения процентного содержания серебра. Вторая группа выделяется несколько условно, так как большинство галенитов, попавших в первую группу, также содержит серебро. За ними идут химические анализы галенитов, в которых не обнаружены ни серебро, ни висмут. Эти анализы расположены по мере увеличения в них процентного содер-

жания свинца. Далее — небольшое число селенсодержащих галенитов, часть из которых попала в первые две группы, затем 16 анализов наиболее полно изученных галенитов различных месторождений Японии, для которых сохранен порядок первоисточника (Saito, 1961), и наконец — анализы, приведенные в первоисточниках уже в пересчитанном виде.

Подразделение галенитов на указанные группы условно не только потому, что группы, как уже отмечалось, иногда перекрывают друг друга, но и потому, что в отдельные группы попадали анализы лишь с заметным содержанием того или иного элемента-примеси (обычно не ниже 0,01 %). Примеси, присутствующие в меньших количествах, объединялись

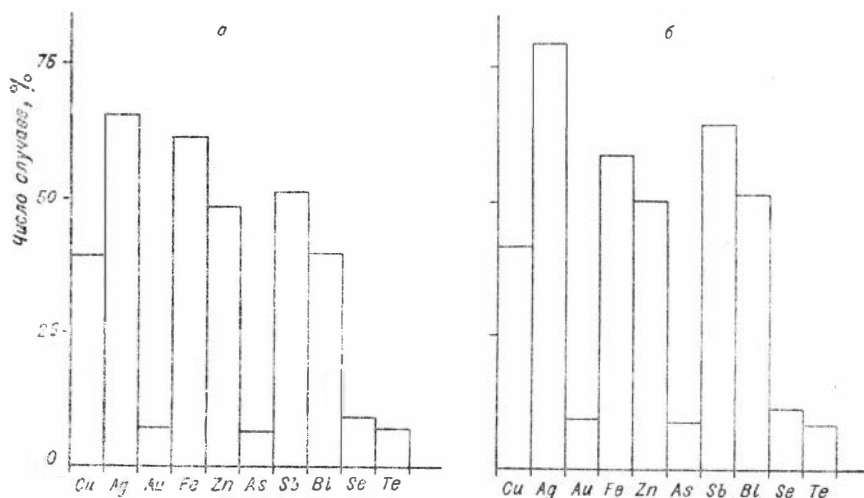


Рис. 13. Частота встречи элементов-примесей в галените.
а — по результатам всех анализов; б — по наиболее достоверным из них.

условно в «следы» и при отнесении анализов к той или иной группе, как правило, не учитывались. Поэтому среди серебросодержащих галенитов имеются анализы, которыми установлены следы висмута, а в группе галенитов, не содержащих ни висмута ни серебра, — анализы со следами того и другого. Однако подобное разделение анализов облегчило выявление особенностей их химического состава.

Основными, наиболее часто встречающимися элементами-примесями в галените (рис. 13) являются (в порядке уменьшения их роли) Ag, Fe, Sb, Zn, Bi, Cu; остальные элементы — Au, As, Se, Te обнаружены значительно меньшим количеством анализов. Последнее не исключает, что роль некоторых из них и более значительна, так как во многих анализах большинство из указанных элементов не определялось. Это, в первую очередь, может относиться, очевидно, к селену и теллуру, содержание которых иногда достигает значительных величин¹⁶ (селена до 1,23% — в ан. 291, теллура — 0,45 в ан. 163). Кроме того, в небольшом числе анализов установлены незначительные примеси кобальта, кадмия и вольфрама, которые не являются характерными для галенита.

¹⁶ У Рамдора (1962) имеется указание, что известны случаи с содержанием селена в галените до 18%. Это вполне вероятно, если учесть работы Колмена (Koleman, 1959) и Хайера (Heier, 1953), доказавших для природных образований существование непрерывного перехода от PbS до PbSe. Более того, предельное содержание селена, по-видимому, в этом случае должно отвечать теоретическому содержанию его в PbSe, т. е. 27,7%.

Максимальных содержаний из примесей, если исключить из рассмотрения цинк, достигают висмут—до 12,14% и серебро—до 6,40% (ан. 150). Остальные элементы встречаются в значительно меньших количествах.

Интересно отметить, что как в случае использования всех анализов (см. рис. 15а), так и в случае использования наиболее достоверных из них (см. рис. 15б) относительная частота встречи отдельных элементов-примесей меняется не существенно.

Для установления количественных связей между наиболее распространенными элементами-примесями из всех имеющихся анализов были

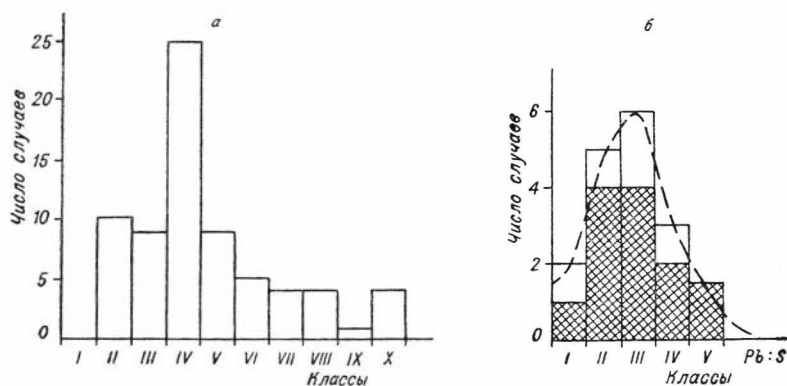


Рис. 14. Гистограмма распределения отношения Pb : S в галените.

а — природный материал, б — синтетический сульфид свинца.

Классы на рис. а: I — 0,9655—0,9755; II — 0,9755—0,9855; III — 0,9855—0,9955; IV — 0,9955—1,0055; V — 1,0055—1,0155; VI — 1,0155—1,0255; VII — 1,0255—1,0355; VIII — 0,1355—1,0455; IX — 1,0455—1,0555; X — 1,0555—1,0655.

Классы на рис. б: I — 0,095—1,005; II — 1,005—1,015; III — 1,015—1,025; IV — 1,025—1,035; V — 1,035—1,045.

отобраны наиболее достоверные, причем величина плотности галенита считалась удовлетворительной, если она лежала в интервале 7,48—7,60 г/см³.

Кроме анализов, отброшенных как недостаточно достоверные по перечисленным выше критериям, в данном случае были отброшены также все анализы, имевшие отношение Pb : S выше 1 : 1,0355, поскольку на гистограмме распределения этого отношения в галените (рис. 14 а и б) указанные анализы встречаются аномально часто (VIII—X классы на рис. 14) и не исключено, что они могут характеризовать какой-то иной, самостоятельный максимум распределения. По этой же причине был отброшен и ан. 150, лежащий, наоборот, слишком далеко влево от модального (IV) класса с отношением Pb : S = 1 : 0,9955—1 : 1,0055. Таким образом, в качестве наиболее достоверных были сохранены анализы, попавшие по отношению Pb : S в три класса с каждой стороны от модального.

Из количественных сопоставлений были исключены также два анализа так называемого таргионита (ан. 194 и 195) из-за чрезмерно высоких примесей железа и сурьмы, а также потому, что рядом исследователей была доказана неоднородность анализируемого материала. Из-за высокого содержания цинка был исключен из рассмотрения ан. 245, а из-за высокого содержания нерастворимого остатка — ан. 260.

В результате из общего числа 170 анализов только 66 оказались пригодными для количественных сопоставлений.

При математической обработке отобранных химических анализов галенита сразу же возникли трудности. Обработку результатов практиче-

ски невозможно было делать так, как это удобно в силикатах, относя все величины химических анализов к определенной постоянной величине, например кислороду, в соответствии с кристаллохимической формулой. В случае галенита принять за такую величину серу нельзя, поскольку она может замещаться селеном, возможно теллуrom, причем содержание селена, как уже указывалось, иногда значительно. Кроме того, селен и теллур определялись в небольшом числе анализов, а в других они чаще просто не определялись, тогда как содержание обоих в ряде случаев вполне возможно.

Согласно устному указанию А. Б. Вистелиуса, отнесение к постоянной сумме в случае рассмотрения роли элементов-примесей не столь обязательно, так как расчет, проведенный в ЛОМИ, показывает, что элементы-примеси могут рассматриваться как открытые величины. Правда, необходимо знать, с какой величины содержаний сказанное справедливо.

Возникли и другие затруднения при расчетах. Собранные анализы естественно, не производились по постоянной схеме для определенного количества элементов — одни аналитики ограничились определением лишь главных компонентов, другие проводили более полный анализ. Все это вызвало необходимость определять силы связи между отдельными элементами в специально подобранных группах анализов.

Значительно затрудняется определение достоверных коэффициентов корреляции и тем, что часто анализируемый материал был неоднороден. В этом случае устанавливались связи не только между элементами, входящими в состав собственно галенита, но и элементами, входящими в состав механических примесей.

К сожалению, единственным физическим свойством, измеряемым иногда для галенита, оказалась плотность, на величину которой практически одновременно влияют все примеси. Другие же физические константы, которые мы могли бы в данном случае связать с составом, отсутствуют. Исключение в этом отношении представляют лишь исследования для японских галенитов К. Сайто (Saito, 1961).

Поскольку наиболее интересны примеси к галениту серебра, висмута и сурьмы, начнем именно с них. Характер примесей серебра и висмута к галениту обсуждался неоднократно. Так, многие исследователи (Chapman, Stevens, 1933; Ramdohr, 1938; Leutwein, Heggman, 1954; Онтюев и др., 1960) считают, что эти элементы входят в состав галенита в виде $\alpha = \text{AgBiS}_2$ с образованием твердого раствора, который в дальнейшем распадается с выделением шалбахита. Эти представления были подкреплены экспериментально Ван Хуком (Van Hook, 1961), показавшим наличие широкой области смесимости в ряду $\text{PbS} - \text{AgBiS}_2$, и закономерным изменением параметра решетки образцов в ряду $\text{PbS} - \text{AgBiS}_2$ (Leutwein, Heggman, 1954; Онтюев и др., 1960).

Однако ряд исследователей, допуская возможность существования изоморфных смесей $\text{PbS} - \text{AgBiS}_2$, обращает внимание на то, что в большинстве анализов галенита имеются отклонения от необходимых для соединения AgBiS_2 пропорций Ag и Bi или в сторону увеличения относительного количества висмута или, наоборот, в сторону увеличения содержания серебра. При этом особое внимание уделяется роли висмута в галените и появлению октаэдрической отдельности¹⁷.

Так, например, Вальстром (Wahlstrom, 1937), отмечая октаэдрическую отдельность в серебро-висмутовом галените, указывал, что соотношение примесей серебра и висмута в нем не соответствует соединению

¹⁷ Впервые октаэдрическая отдельность висмутсодержащего галенита была отмечена, по-видимому, А. Браном (Brin, 1881).

AgBiS_2 (см. ан. 163, 165). Поэтому он склонен был рассматривать появление октаэдрической отдельности как результат динамометаморфизма, тем более что она исчезала при отжиге.

Преобладание серебра над висмутом против формулы AgBiS_2 отмечал Тишендорт (Tischendorf, 1955). Ваасйоки (Vaasjoki, 1956) считал изоморфизм $\text{PbS} - \text{AgBiS}_2$ маловероятным. На связь октаэдрической отдельности с химической примесью в галените висмута указывали Офтедаль (Ofteidal, 1943), Ф. В. Чухров (1944), Л. Н. Хетчиков (1958) и другие исследователи, занимавшиеся изучением характера примеси Ag и Bi к галениту. Офтедаль показал, что октаэдрическая отдельность появляется только в галенитах, в которых содержание Bi превышает его количество, необходимое для образования соединения AgBiS_2 . Он допускал при этом возможность непосредственного изоморфного замещения Pb на Bi .

Ф. В. Чухров, изучая галенит Акчагыльского месторождения, пришел к выводу, что октаэдрическая отдельность его связана с примесью висмута в виде мельчайших включений висмутита по плоскостям (111). В приводимом им анализе содержание серебра не указано. Однако в опубликованных позднее химических анализах акчагыльского галенита (Нестерова, 1958) указывается серебро в количествах 0,37 и 0,21% (ан. 158, 166) и висмут — 3,45 и 1,96% соответственно. Таким образом, серебро, очевидно, могло содержаться и в образце галенита, описанном Чухровым, но просто не было определено. Однако если такое предположение и справедливо, в образцах из Акчагыла содержание висмута значительно превышает то, которое необходимо для соединения AgBiS_2 .

Все достоверные анализы галенита, для которых одновременно установлены примеси серебра и висмута, исходя из сказанного выше, были разбиты на несколько групп (табл. 6).

К первой группе были отнесены анализы галенита с одновременно высоким содержанием серебра и висмута. Сюда попали образцы из высокотемпературных вольфрамовых месторождений (Букука, Баевка) и условно анализ образца из месторождения Ледвилл, для которого генезис иной, но содержания серебра и висмута максимальные. Таких анализов оказалось только пять. В них среднее арифметическое для серебра составляет 2,52% ($\sigma = 2,00\%$), а для висмута — 5,22% ($\sigma = 3,84\%$).

Для анализов этой группы устанавливаются высокий положительный коэффициент корреляции для пары $\text{Ag} - \text{Bi}$ и высокие отрицательные коэффициенты корреляции для пар $\text{Ag} - \text{Pb}$ и $\text{Bi} - \text{Pb}$ (см. табл. 6). Частные коэффициенты корреляции $r_{\text{Ag} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Pb}}$ и $r_{\text{Bi} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Ag}}$ в данном случае незначимы, тогда как $r_{\text{Ag} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Bi}} = -0,92$, что скорее всего является результатом изоморфного замещения $\text{Ag} - \text{Bi}$ минералом галенита.

Коэффициенты прямолинейной регрессии для рассматриваемой группы равны:

$$R_{\text{Ag}|\text{Bi}} = \frac{2,00}{3,84} \times 0,987 = 0,51,$$

$$R_{\text{Bi}|\text{Ag}} = \frac{3,84}{2,00} \times 0,987 = 1,90.$$

Ошибки коэффициента регрессии m_R , определяемые, как известно, по формуле

$$m_{R^{1/2}} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot \sqrt{\frac{1 - r_{1,2}^2}{n - 2}},$$

в этом случае соответственно равны $\pm 0,05$ и $\pm 0,42$.

Таким образом, доверительный интервал для $R_{Ag, Bi}$ будет $\pm 1,6 \times 0,05 = \pm 0,1$, а для $R_{Bi/Ag}$ — $\pm 1,96 \times 0,42 = \pm 0,82$ (Демина, 1959). Для формулы $AgBiS_2$ отношения процентных содержаний Ag/Bi и Bi/Ag соответственно равны 0,52 и 1,94. Поэтому различия между полученными величинами и теоретическим составом соединения $AgBiS_2$ незначимы.

Следовательно, в рассматриваемой группе примеси серебра и висмута находятся в виде соединения $AgBiS_2$. Если учесть оптическую однородность этих образцов (Онтоев и др., 1960), то очевидно, придется согласиться с существованием здесь твердых растворов состава $PbS - AgBiS_2$, что подтверждено также и рентгеноструктурными данными.

Так как для рассматриваемой группы не устанавливаются значимые коэффициенты корреляции серебра или висмута с другими элементами, уравнения прямолинейной регрессии в этом случае, связывающие между собой содержания серебра и висмута, будут иметь следующий вид:

$$Ag = 0,51 Bi - 0,14$$

$$Bi = 1,90 Ag + 0,43.$$

Поскольку эти уравнения имеют вероятностный характер, то, очевидно, в каждом конкретном анализе мы будем иметь те или иные отклонения между найденными и вычисленными содержаниями; последние при этом будут соответствовать усредненным наиболее вероятным величинам.

Иллюстрацией к сказанному служит табл. 7. Если в каждом из анализов, исходя из предпосылки, что оба элемента входят в галенит в виде $AgBiS_2$, вычислить содержание

Таблица 6
Средние арифметические содержания основных элементов (\bar{X}), средние квадратичные отклонения (σ) и коэффициенты корреляции (r) для галенитов, содержащих одновременно примеси висмута и серебра

Группа	n	\bar{X}_{Pb}	σ_{Pb}	\bar{X}_{Ag}	σ_{Ag}	\bar{X}_{Bi}	σ_{Bi}	$r_{Ag, Bi}$		$r_{Bi, Pb}$		$r_{Ag, Pb, Bi}$	
								t	t	t	t	t	t
Высокие содержания висмута и серебра	5	77,27	7,35	2,52	2,00	5,22	3,84	$\frac{0,987}{3,74}$	$\frac{-0,996}{4,74}$	$\frac{-0,976}{2,75}$	$\frac{0,73}{2,25}$	$\frac{-0,92}{2,25}$	$\frac{0,42}{2,25}$
Высокие содержания висмута, значительное содержание серебра; висмут резко преобладает над серебром	4	83,65	1,45	0,26	0,14	1,60	1,09	—	—	—	—	—	—
Содержания висмута и серебра низкие	9	85,88	1,67	0,06	0,22	0,02	0,02	—	—	—	—	—	—

Примечание. В знаменателе приведены критерии достоверности Фишера (t) только для значимых величин коэффициентов корреляции.

висмута по серебру и, наоборот, то получают значительные расхождения между вычисленными и опытными величинами, причем колебания отклонения в ту и другую сторону велики. При расчете тех же величин по приведенным выше уравнениям хотя и получается заметная разница с опытными данными, но отклонения в обе стороны близки по абсолютной величине.

В этой же таблице приведены данные еще для трех менее достоверных анализов (ан. 155, 156 и 168), показывающие отклонения между вычисленными и опытными величинами примерно того же порядка, что и

Т а б л и ц а 7

Сравнение аналитических и вычисленных содержаний серебра и висмута в галенитах

№ анализа	Висмут, %			Серебро, %			Висмут, %			Серебро, %		
	найде-но	вычис-лено*	Δ	найде-но	вычис-лено*	Δ	най-де-но	вычис-лено**	Δ	найде-но	вычис-лено***	Δ
150	11,47	11,72	-0,25	6,04	5,96	+0,08	11,47	11,91	-0,44	6,04	5,71	+0,33
152	7,61	6,67	+0,94	3,44	3,96	-0,52	7,61	6,97	+0,67	3,44	3,74	-0,30
157	3,93	2,70	+1,23	1,39	2,04	-0,65	3,93	3,07	+0,86	1,39	1,86	-0,47
161	1,85	1,80	+0,05	0,93	0,96	-0,03	1,85	2,20	-0,35	0,93	0,80	+0,13
164	1,25	1,55	-0,30	0,80	0,65	+0,15	1,25	1,95	-0,70	0,80	0,50	+0,30
155	4,29	5,80	-1,51	2,99	2,23	+0,76	4,29	6,11	-1,82	2,99	2,05	+0,94
156	4,06	2,91	+1,15	1,50	2,11	-0,61	4,06	3,27	+0,79	1,50	1,93	-0,43
168	0,95	1,16	-0,21	0,60	0,49	+0,11	0,95	1,57	-0,62	0,60	0,34	+0,26

* Исходя из предпосылки, что Bi и Ag входят строго в виде $AgBiS_2$.

** По уравнениям $Ag=0,51 Bi - 0,14$; $Bi=1,90 Ag+0,43$.

рассмотренные выше, за исключением ан. 156. Д. О. Онтоев, П. Н. Ниссенбаум и Н. И. Органова, приводящие этот анализ, также отмечают его отклонения от остальных, предполагая, что часть серебра в этом случае входит непосредственно в решетку галенита, хотя убедительных доказательств этому и не приводится.

Полученные уравнения прямолинейной регрессии для содержаний висмута и серебра в рассматриваемых галенитах подчеркивают обычное преобладание в них висмута над серебром. Это, очевидно, может быть связано или с присутствием в галените беегерита (Онтоев и др., 1960), или с изоморфным растворением части висмута непосредственно в галените по схеме $Bi_2S_3 \rightarrow PbS$.

Ко второй группе относятся четыре анализа (ан. 158, 163, 169, 170), отличающиеся от анализов третьей группы высоким содержанием серебра. Эти же анализы отличаются и значительно более высокими содержаниями висмута, обычно резко преобладающими над содержаниями серебра. Если учесть, что в эту группу в основном попадают анализы с таких своеобразных месторождений, как Акчагыл, Восточный Коунрад, Сновай Рендж, Нурдмарк, то становится ясно, что эта группа также имеет определенное генетическое значение.

Особенно четко эти различия проявляются при сопоставлении средних арифметических содержаний серебра и висмута, а также средних квадратичных отклонений содержаний этих элементов (см. табл. 6).

Определять коэффициенты корреляции всего для четырех анализов, по-видимому, нет особого смысла. В то же время еще раз подчеркнем **резкое** преобладание в этих анализах висмута над серебром против количеств, необходимых для формулы $AgBiS_2$. Наиболее вероятным для этого случая представляется непосредственное образование твердых

растворов $PbS - Bi_2S_3$. Принципиальная возможность подобного изоморфизма доказана экспериментальными исследованиями Шенка с сотрудниками (Schenk usw, 1939) и Ван Хука (Van Hook, 1961). Выделение висмутовых соединений (Bi_2S_3) по плоскостям октаэдра при распаде соответствующих твердых растворов, очевидно, и вызывает, как это указывал в свое время И. Офтедаль, появление откаэдрической отдельности. Это свойство рассматриваемого галенита отмечалось почти всеми исследователями (см., например, Wahlstrom, 1937; Чухров, 1944).

Близки к рассматриваемой группе анализы галенита из Кызыл-Эспе (ан. 162, 171) и анализы галенита из Акчагыла и Эукзека (ан. 165, 167), не попавшие в рассматриваемую группу из-за недостаточной своей достоверности. Очень близок к ней и анализ так называемого тинита (ан. 151).

Остальные девять анализов галенита из различных полиметаллических месторождений, характеризующиеся отсутствием связи между висмутом и серебром и низкими содержаниями этих элементов, относятся главным образом к различным месторождениям Алтая, Средней Азии и Кавказа. Серебро и висмут, судя по полученным данным, скорее всего связаны в них с присутствием незначительных механических примесей или, возможно, как это допускалось В. И. Вернадским и Д. О. Онтоевым, с ничтожным вхождением серебра в галенит в виде твердого раствора $Ag_2S - PbS$.

Подобные представления подтверждаются исследованием зависимости между содержанием серебра и величиной параметра решетки галенита, проведенным К. Сайто (Saito, 1961), и экспериментальными данными, полученными Ван Хуком (Van Hook, 1961). Причем Сайто показал линейную связь между содержанием серебра в галените и его параметром решетки, тогда как висмута в указанных анализах мало и, как правило, меньше, чем требуется при изоморфизме в ряду $PbS - AgBiS_2$. Важно отметить, что абсолютные величины содержаний серебра в галените в данном случае, как правило, не превышают 0,10%, редко достигая несколько более высокого значения (ан. 303, 310, 311).

Попытки выяснить характер примеси серебра и сурьмы к галениту предпринимались неоднократно, однако каких-либо глубоких исследований в этом направлении не проводилось. Чаще всего просто упоминается примесь к галениту сурьмосодержащих минералов и в первую очередь тетраэдрита (Рамдор, 1962; Lentwein, Herrman, 1954; Tischendorf, 1955).

Из отобранных для количественных сопоставлений анализов галенита 24 ан. содержат одновременно примеси серебра и сурьмы. Определение коэффициентов корреляции для всех них показывает практическое отсутствие связи между названными элементами. Однако более детальное рассмотрение содержаний этих элементов в галените и количественных взаимоотношений между ними позволяет выявить некоторые отличия и разделить все анализы на две группы.

Одна группа анализов (главным образом галениты Средней Азии и Алтая) не обнаруживает никаких значимых коэффициентов корреляции (табл. 8). Для всех галенитов этой группы характерны низкие содержания серебра ($\bar{X}=0,05$, $\sigma=0,19\%$) и сурьмы ($\bar{X}=0,03$, $\sigma=0,02\%$). Очевидно, в этом случае следует признать случайным характер рассматриваемых примесей, связанных скорее всего с различными механическими включениями непостоянного состава, или, как и в случае висмут- и серебросодержащих галенитов аналогичных месторождений, возможно допустить незначительный изоморфизм, например типа $Ag_2S - PbS$.

Во вторую группу попали галениты главным образом из различных месторождений Забайкалья. Они отличаются прежде всего значительно

Средние арифметические содержания основных элементов (\bar{X}), средние квадратичные отклонения (σ) и коэффициенты корреляции (r) для галенитов, содержащих одновременно примеси сурьмы и серебра*

Группа	n	\bar{X}_{Pb}	σ_{Pb}	\bar{X}_{Ag}	σ_{Ag}	\bar{X}_{Sb}	σ_{Sb}	$\frac{r_{Ag, Sb}}{t}$	$\frac{r_{Ag, Pb}}{t}$	$\frac{r_{Sb, Pb}}{t}$	$\frac{r_{Ag, Sb, Pb}}{t}$	$\frac{r_{Sb, Pb, Ag}}{t}$	
Анализы с низкими содержаниями сурьмы и серебра	19	85,78	1,22	0,06	0,05	0,05	0,08	-0,074	0,116	0,014	-0,075	0,12	0,11
Анализы с высокими содержаниями сурьмы и серебра	7	85,16	1,00	0,30	0,18	0,36	0,24	$\frac{0,95}{3,66}$	$\frac{-0,81}{2,25}$	$\frac{-0,89}{2,84}$	$\frac{0,86}{2,59}$	0,26	-0,67

* См. примечание к таблице 6.

более высокими содержаниями серебра ($\bar{X}=0,30$, $\sigma=0,18\%$) и сурьмы ($\bar{X}=0,36$, $\sigma=0,24\%$). Кроме того, в этой группе устанавливается сильная положительная связь для пары серебро — сурьма и сильная отрицательная связь для пар серебро — свинец и сурьма — свинец. Первая связь сохраняется и при постоянном значении свинца, тогда как две другие становятся незначимыми при постоянном содержании сурьмы и серебра соответственно.

Исходя из сказанного, можно признать наличие в рассматриваемых галенитах какого-то серебро-сурьмяного соединения, но скорее всего в виде механической примеси, так как частный коэффициент корреляции для пары серебро — сурьма остается высоким и при постоянном значении свинца. Конечно, последнее может иметь место и в том случае, если серебро и сурьма связаны с какими-то иными элементами-примесями, но, к сожалению, для выяснения этого предположения данных недостаточно.

О количественных отношениях между серебром и сурьмой можно судить по коэффициентам прямолинейной регрессии:

$$R_{Ag/Sb} = \frac{0,18}{0,24} \times 0,95 = 0,71$$

$$R_{Sb/Ag} = \frac{0,24}{0,18} \times 0,95 = 1,26$$

Ошибка в величине коэффициента регрессии составляет $\pm 0,15$ для $R_{Ag/Sb}$ и $\pm 0,27$ для $R_{Sb/Ag}$. Таким образом, интервал достоверных различий для $R_{Ag/Sb}$ будет лежать за значениями $0,71 \pm 0,29$ и для $R_{Sb/Ag}$ за значениями $1,26 \pm 0,53$. В этих интервалах оказываются величины $R_{Ag/Sb}$ и $R_{Sb/Ag}$ для миаргирита ($AgSbS_2$), равные соответственно 0,88 и 1,13.

Грэхэм (Graham, 1951) показал, что при высокой температуре $AgSbS_2$ переходит в кубиче-

скую модификацию с $a=5,642$ кХ, образующую непрерывный ряд твердых растворов с AgBiS_2 . Для высокотемпературной модификации AgBiS_2 Грэхэм определил $a=5,636$ кХ. Таким образом, по параметру решетки высокотемпературная модификация AgSbS_2 даже ближе к PbS ($a=5,924$ кХ), чем AgBiS_2 .

В то же время низкотемпературные модификации указанных соединений не изоморфны ни друг с другом, ни с галенитом. Поэтому если при высокой температуре можно ожидать изоморфизм по схеме $\text{PbS} \rightarrow \text{AgSbS}_2$, то снижение ее должно вызвать распад этих твердых растворов с появлением самостоятельных выделений AgSbS_2 , возможность чего показана экспериментальными исследованиями (Wernick, 1960).

После более полного исследования ряда $\text{PbS} - \text{AgSbS}_2$ экспериментально и более тщательного изучения галенита из забайкальских полиметаллических месторождений, в первую очередь с Кадаинского, возможно удастся использовать примеси AgSbS_2 к галениту так же, как и в случае AgBiS_2 (Ramdohr, 1938), в качестве геологического термометра.

Уравнения прямолинейной регрессии для рассматриваемой группы анализов, поскольку связи между серебром и сурьмой, с одной стороны, и остальными элементами, с другой, отсутствуют, будут иметь так же, как и в случае примесей серебра и висмута, простой вид:

$$\text{Ag} = 0,71 \text{ Sb} + 0,04;$$

$$\text{Sb} = 1,26 \text{ Ag} - 0,02.$$

Сопоставление содержаний сурьмы и серебра, вычисленных по этим уравнениям, с результатами, вычисленными исходя из формулы AgSbS_2 (табл. 9), показывает, что они близки между собой и практически соответствуют соединению AgSbS_2 , поскольку отклонения имеют незначительный характер.

Таблица 9

Сравнение аналитических и вычисленных содержаний сурьмы и серебра в галенитах полиметаллических месторождений Забайкалья

№ анализа	Сурьма			Серебро			Сурьма			Серебро		
	найдено	вычислено*	Δ	найдено	вычислено*	Δ	найдено	вычислено**	Δ	найдено	вычислено**	Δ
191	0,90	0,84	+0,06	0,74	0,79	-0,05	0,90	0,91	-0,01	0,74	0,68	+0,06
199	0,33	0,30	+0,03	0,27	0,29	-0,02	0,33	0,32	+0,01	0,27	0,27	0,00
202	0,30	0,28	+0,02	0,25	0,26	-0,01	0,30	0,30	0,00	0,25	0,25	0,00
203	0,33	0,26	+0,07	0,23	0,29	-0,06	0,33	0,27	+0,06	0,23	0,27	-0,04
205	0,20	0,24	-0,04	0,21	0,18	+0,03	0,20	0,24	-0,04	0,21	0,18	+0,03
206	0,10	0,24	-0,14	0,21	0,09	+0,12	0,10	0,24	-0,14	0,21	0,11	+0,10
207	0,33	0,23	+0,10	0,20	0,29	-0,09	0,33	0,23	+0,10	0,20	0,27	-0,07
201	0,32	0,29	+0,03	0,26	0,28	-0,02	0,32	0,31	+0,01	0,26	0,27	-0,01

* Исходя из предпосылок, что Sb и Ag входят строго в виде AgSbS_2 .

** По уравнениям $\text{Ag} = 0,71 \text{ Sb} + 0,04$ и $\text{Sb} = 1,26 \text{ Ag} - 0,02$.

Очень близок к рассмотренной группе и менее достоверный анализ галенита из Благодатского месторождения, Восточное Забайкалье (ан 201), также подтверждающий установленную закономерность.

Что касается примесей меди и железа, то они наиболее обычны к галениту типичных полиметаллических и скарновых месторождений

Средней Азии и Алтая. Однако средние содержания их низки. Так, по 15 анализам получаем для меди $\bar{X}=0,19\%$ ($\sigma=0,31\%$), для железа $\bar{X}=0,16$ ($\sigma=0,16\%$). Для этой группы анализов устанавливается хотя и не очень сильная, но достаточно заметная положительная связь между железом и медью. Коэффициент корреляции $r_{\text{Cu, Fe}} = 0,60$ при $t=2,40$. Уравнения прямолинейной регрессии в этом случае будут иметь следующий вид:

$$\text{Fe} = 0,31 \text{ Cu} + 0,10;$$

$$\text{Cu} = 1,16 \text{ Fe} + 0,01.$$

Коэффициент прямолинейной регрессии $R_{\text{Cu/Fe}} = 1,16$ очень близок к отношению $\text{Cu} : \text{Fe}$ в халькопирите (1,14). Эти величины незначимо отличаются друг от друга (доверительный интервал для $R_{\text{Cu/Fe}}$ равен $\pm 0,84$). В то же время коэффициент прямолинейной регрессии $R_{\text{Fe/Cu}} = -0,31$ при доверительном интервале $\pm 0,22$, тогда как отношение $\text{Fe} : \text{Cu}$ в халькопирите равно 0,88, т. е. в этом случае выявляется значимое отличие. Это говорит о том, что основная масса железа и меди в рассмотренных образцах связана в халькопирит при одновременном присутствии какого-то количества самостоятельных минералов железа (пирита, пирротина).

Связи в месторождениях этого типа между железом и сурьмой установить не удалось, хотя в ряде случаев она несомненна (например, в так называемом таргионите).

Остановимся теперь на рассмотрении примесей селена и теллура. Для количественных сопоставлений, к сожалению, данных недостаточно, поэтому придется ограничиться лишь качественными характеристиками.

Из собранных анализов (см. приложение XIII) видно, что теллур наиболее характерен для высокотемпературных галенитов вольфрамовых (ан. 157, 164) и скарновых (ан. 160, 163, 165) месторождений. В то же время в галенитах типичных полиметаллических месторождений он содержится в виде следов или тысячных долей процента (ан. 183, 206, 208, 216, 242, 243), либо вовсе отсутствует (ан. 217, 218, 226, 236); редко содержание теллура в этом случае достигает сотых долей процента (ан. 213).

Если учесть, что для анализов, характеризующихся более высокими содержаниями теллура, устанавливаются и более высокие, чем это необходимо для формулы AgBiS_2 , содержания висмута, представляется наиболее вероятной связь теллура в этом случае с висмутом. Связь теллура с висмутом в галените отмечалась и Офтедалем, изучавшим спектральным методом химический состав норвежских галенитов (Ofstedal, 1959). Он также указал на тесную связь с Te и Bi в галените таллия. Однако в нашем распоряжении подобного материала не имелось¹⁸.

Качественно тесную положительную связь между содержаниями теллура, селена, а также серебра, висмута и сурьмы (возможно, таллия) в галените Алтын-Топканской группы месторождений отметили Н. В. Нечелюстов, Н. Н. Попова и Э. Ф. Минцер (1962). Они высказали предположение, что теллур (и селен) может входить в решетку галенита одновременно с вхождением в нее $\text{Bi}(\text{Sb})$ и $\text{Ag}(\text{Tl})$, но для окончательного вывода по этому вопросу необходимы дополнительные и в первую очередь рентгеноструктурные исследования.

¹⁸ Н. Р. Серебряная (1962) показала возможность вхождения таллия в кристаллическую решетку галенита.

Тем не менее такая возможность представляется вполне вероятной, и не исключено, что именно с этим связано повышенное содержание теллура в некоторых галенитах, особенно из высокотемпературных вольфрамовых месторождений. Возможно и непосредственное образование теллуридов, Bi, особенно при недостатке серебра, поскольку экспериментальные исследования показали чрезвычайно малую растворимость алтаита в галените (Jamamoto, 1956; Синдеева, Годовиков, 1959).

В отличие от теллура максимальные содержания селена установлены для галенитов типичных полиметаллических месторождений. Более того, в ряде случаев доказано широкое изоморфное замещение в природных образованиях серы PbS селеном практически до PbSe (Heier, 1953; Collman, 1959), что хорошо согласуется с экспериментальными исследованиями (Earley, 1950).

Таким образом, приведенные данные показывают, что в случае высокого содержания в галените серебра при наличии достаточных количеств висмута или сурьмы его следует связывать при пересчетах в $AgBiS_2$ или $AgSbS_2$. Во всех остальных случаях серебро можно пересчитывать на Ag_2S , а Bi и Sb на Bi_2S_3 и Sb_2S_3 . Остальные элементы следует пересчитывать, исходя из состава минеральной ассоциации, сопровождающей галенит.

При рассмотрении результатов пересчета анализов галенита (прилож. XIII и XIIIa) выясняется, что многие из них обнаруживают избыток серы или свинца против формулы PbS. Отношение Pb : S колеблется от 0,945 до 1,065.

Для выяснения причин подобных отклонений большой интерес представляет рассмотрение гистограммы частот встречи анализов с определенным отношением Pb : S.

Величина классового промежутка (K) может быть определена в этом случае по формуле (Плохинский, 1961)

$$K = \frac{\max - \min}{1 + 3,3 \ln n},$$

где max и min — максимальное и минимальное значения рассматриваемой величины;

n — число анализов.

Таким образом, $K = \frac{1,065 - 0,945}{1 + 3,3 \ln 57} = 0,0084$. Такая величина классового промежутка (разряда) не очень удобна и ее лучше округлить до 0,0100. В этом случае устанавливается 10 классов, причем середины классов могут быть выражены целыми сотыми долями.

Распределение отношений Pb : S (см. рис. 14) имеет одну отчетливую вершину и некоторое повышение через три классовых промежутка вправо от модального класса. Основной максимум соответствует отношению Pb : S = 1,000. Около него сосредоточено подавляющее большинство анализов. Другой максимум выражен нечетко и соответствует отношению Pb : S = 1,040. Сюда попадает большинство анализов полиметаллических месторождений Главного Кавказского хребта (Садон — ан. 172 и 177; Верхний Згид — ан. 215), некоторые анализы полиметаллических месторождений Алтая (Змеиногорское — ан. 243, Заводинское — ан. 268, Чудесная Ямка — ан. 214, Петровское — ан. 227) и по одному анализу галенита из Акчагыльского месторождения (ан. 166) и Букуки (ан. 156). Для галенитов же вольфрамовых, скарных и большинства полиметаллических месторождений характерно отношение свинца и серы, близкое к стехиометрическому.

Возможно, что незначительные отклонения от стехиометрии являются генетической особенностью галенитов некоторых полиметаллических месторождений. Для большинства же анализов отклонения от отношения $Pb : S = 1 : 1$ связаны, очевидно, с нормальным распределением результатов определения свинца и серы. Поэтому объяснять их примесью свободной серы или кислородных соединений свинца только на основании данных химического анализа, как это делает Ю. С. Нестерова (1958), нельзя.

То, что соединение PbS может растворять некоторое количество серы или свинца, доказано экспериментальными исследованиями (Влоетт, Kröger, 1956). Интересно, что при этом значительно изменялось даже такое свойство соединения, как температура плавления, повышаясь при избытке свинца на $50^{\circ}C$.

Отклонения от отношения $Pb : S = 1 : 1$ характерны и для PbS , полученного в токе H_2S из смеси $PbO + NH_4Cl$ или $PbSO_4 + PbCl_2$ (Васильев, Муратова, 1962). Указанные авторы приводят 17 химических анализов полученных продуктов. Перед анализом сернистый свинец обрабатывался ацетатом аммония (для извлечения $PbSO_4$) и сероуглеродом (для извлечения элементарной серы). Несмотря на это, в большинстве случаев устанавливается избыток (и часто значительный) серы против стехиометрического количества свинца (см. рис. 146). Судя по суммам анализов, основная часть их может считаться достоверной — лишь в пяти случаях сумма выходит за пределы 99,50—100,50%. Учитывая небольшое общее число анализов, нам пришлось воспользоваться ими всеми. Однако, как это видно из приведенной гистограммы, характер распределения отношений $Pb : S$ в случае использования всех анализов или только анализов с удовлетворительной суммой принципиально сходен и показывает смещение отношения в рассматриваемых галенитах в сторону повышения роли серы. Правда, это смещение невелико и может явиться результатом систематической ошибки в определении свинца или серы, однако обратить внимание на это необходимо.

Очевидно, отклонения состава от стехиометрического могут иметь большое значение в природе, где процессы протекают в разных условиях и в целом ряде случаев с существенными отклонениями от строго стехиометрических отношений исходных компонентов. Для окончательного решения этого вопроса необходимы дополнительные данные, но обратить внимание на возможность указанного явления представляется целесообразным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из изложенного выше видно, что для рассмотренных минералов, по существу, характерны одни и те же примеси. Это, в первую очередь, медь, серебро и свинец (в висмутине), висмут (в галените), железо, цинк, сурьма и мышьяк. При этом в большинстве случаев наличие примесей можно объяснить механическими включениями других минералов, например сфалерита, арсенопирита, пирита, пирротина. В то же время меди часто значительно больше, чем требуется на образование халькопирита: в значительных количествах часто содержится серебро. Поэтому особый интерес вызывает выяснение роли меди и серебра в рассматриваемых минералах, а также характера примесей свинца к висмутину и висмута к галениту.

При описании особенностей химического состава минералов уже рассматривалась зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца для каждого из них. Однако более полно эта зависимость выявляется при сопоставлении всех имеющихся анализов (рис. 15 и 16). На графики нанесены также точки, соответствующие обнаруженным в литературе анализам, айкинита, хаммарита, линдстремита и гладита (приложение XIV).

На графике рис. 15, построенном с использованием всего имеющегося материала, часть анализов попадает на прямую висмутин — айкинит. По несколько анализов попадает на ту или иную прямую, отражающую обратно пропорциональную зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца в отдельных минералах, многие же из анализов находятся далеко в стороне от указанных прямых (19, 26, 30, 34, 35, 38, 80, 84, 93-в, 86-а, 87, 97-в, 102, 324, 104, 127-а, 128-а, 136-а, 138-а, 143, 148, 149, 324, 334, 336 и др.).

На графике же, построенном с использованием наиболее достоверных анализов (рис. 16), ряд висмутин — айкинит намечается очень отчетливо (ан. 8, 12, 14, 18, 17, 22, 25, 29, 320, 321, 78, 75, 324 (?), 105, 327, 329, 331). Более четко проявляется и линейная обратная зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца в отдельных минералах. Особенно отчетлива она в случае козалита (ан. 114, 123-а, 122-а, 111, 117, 109-а, 119, 131, 105), хотя прямая при этом несколько сдвинута в сторону более высокого против теоретического содержания свинца.

На этом же графике имеются штрих-пунктирные линии, показывающие постепенное изменение в соотношении меди (и серебра) и свинца в механических смесях свинцово-висмутовых сульфоселей различного состава с халькозином (или аргентитом). Расположение точек относительно этих прямых показывает, что попытки объяснить во всех случаях присутствие больших количеств примесей меди и серебра наличием их

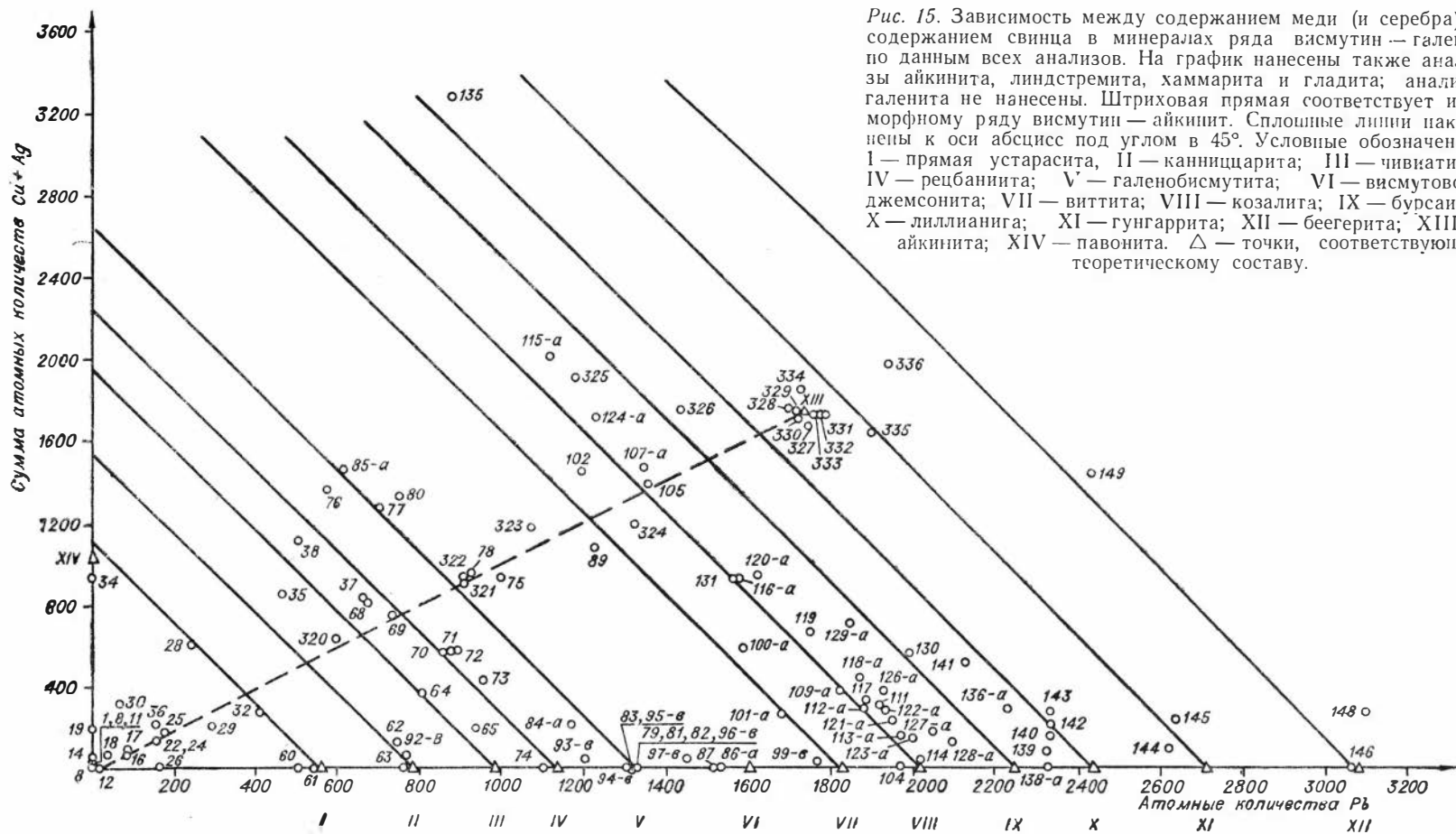
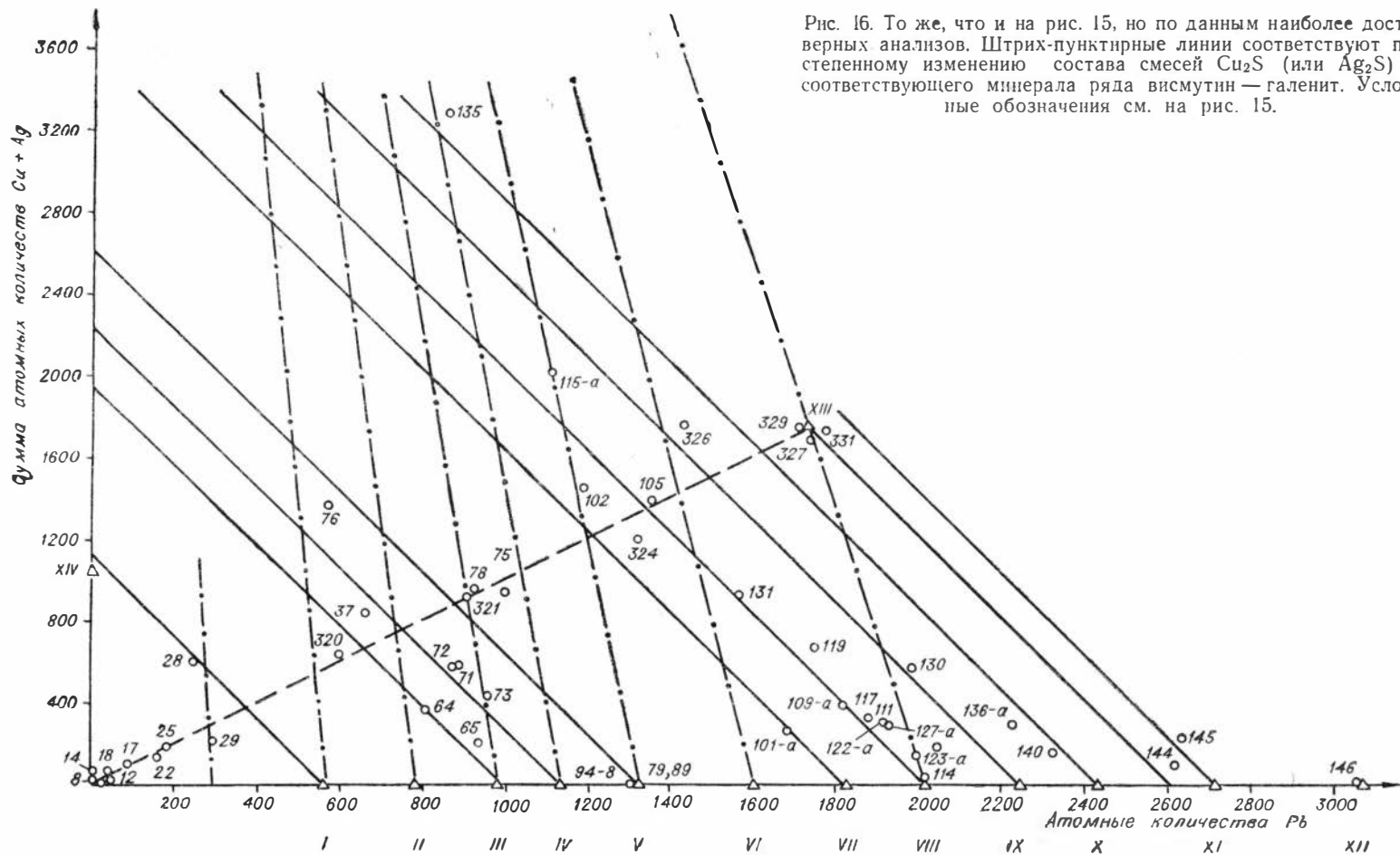


Рис. 15. Зависимость между содержанием меди (и серебра) и содержанием свинца в минералах ряда висмутии — галенит по данным всех анализов. На график нанесены также анализы айкинита, линдстремита, хаммарита и гладита; анализы галенита не нанесены. Штриховая прямая соответствует изоморфному ряду висмутии — айкинит. Сплошные линии наклонены к оси абсцисс под углом в 45° . Условные обозначения: I — прямая устарасита, II — канницарита; III — чивнатита; IV — рецбанита; V — галенобисмутита; VI — висмутового джемсонита; VII — виттита; VIII — козалинта; IX — бурсанта; X — диллианига; XI — гунгаррита; XII — беегерита; XIII — айкинита; XIV — павонита. Δ — точки, соответствующие теоретическому составу.



самостоятельных сульфидов — аргентита или халькозина — не могут считаться удовлетворительными. В то же время в некоторых случаях такое предположение, несомненно, является справедливым. Это относится, например, к ан. 102 и 115-а, находящимся непосредственно на прямой халькозин (аргентит) — галенобисмутит. Возможно с этим же связано положение точек 76, 135 и 326.

Для некоторых анализов график дает двойственное решение. Так, ан. 73 и 321 попадают на штрих-пунктирную прямую, начинающуюся на чивнатите. В то же время ан. 73 лежит на прямой, обратно пропорциональной зависимости между медью (и серебром) и свинцом, начинающейся в точке, отвечающей составу рецбаниита, а ан. 321 — на висмутин-айкинитовой прямой. По совокупности же фактического материала ан. 73 следует отнести к рецбаниитовой прямой, на которую попадают также два достоверных анализа (71, 72) и целый ряд менее достоверных. Принадлежность же ан. 321 к прямой висмутин — айкинит представляется более вероятной из-за весьма реального существования самой связи между свинцом и медью (серебром), выраженной этой прямой. Точно так же ан. 114, 123а и 122а более правильно, на наш взгляд, отнести к козалитовой прямой с обратно пропорциональной зависимостью между медью (и серебром) и свинцом, нежели к прямой козалит — халькозин (аргентит), тем более, что промежуточных точек между козалитом и айкинитом, попадающих на эту прямую, очень мало.

Для небольшого числа анализов, находящихся вне намеченных прямых, также можно было бы провести линии, связывающие их друг с другом. Так, ан. 28 и 29 располагаются на одной прямой, начинающейся от халькозина (аргентита) и заканчивающейся в точке, соответствующей содержанию свинца в еще не обнаруженной или не существующей свинцово-висмутовой сульфосоли. В связи с этим, а также учитывая, что эти анализы оказываются вблизи более реальных прямых, их, очевидно, следует относить к последним, например, ан. 29 к висмутин-айкинитовой прямой, а ан. 28 — к устараситовой.

Таким образом, медь и серебро в рассматриваемых минералах могут играть по крайней мере тройную роль.

1. Медь и серебро совместно со свинцом замещают изоморфно висмут в минералах ряда висмутин — айкинит. При этом устанавливается прямо пропорциональная зависимость между медью (и серебром) и свинцом с отношением между ними 1 : 1. Такие взаимоотношения подтверждаются наибольшим числом имеющихся анализов. Сюда можно отнести 17 достоверных анализов (8, 12, 14, 17, 18, 22, 25, 29, 320, 321, 78, 75, 105, 324, 329, 327, 331) и 16 менее достоверных (1, 11, 16, 24, 32, 36, 68, 69, 89, 107а, 322, 323, 328, 330, 333, 334), лежащих на прямой висмутин — айкинит или вблизи нее.

2. Медь и серебро связаны обратно пропорциональной зависимостью со свинцом при отношении их 2 : 1. Это может быть обусловлено или осуществлением изоморфизма по схеме $(\text{Cu}, \text{Ag})_2 \rightarrow \text{Pb}$, или существованием механической смеси чисто свинцово-висмутовых минералов с минералами ряда висмутин — айкинит близкого состава или с какими-то другими медно-серебро-висмутовыми и медно-серебро-свинцово-висмутовыми сульфосолями. Первое из этих предположений может объяснить положение всех точек, лежащих на графике несколько ниже висмутин-айкинитовой прямой, второе — точек, находящихся немного выше нее.

3. Медь и серебро могут входить в состав рассматриваемых минералов в виде механических примесей — аргентита и халькозина; иногда

возможны, очевидно, и примеси других медных и серебряных минералов. Однако этот случай, по-видимому, сравнительно редок.

Возможность изоморфного замещения свинца непосредственно медью или серебром до недавнего времени допускалась большинством исследователей. Для выяснения такой возможности сопоставим свойства простых сульфидов меди, серебра и свинца (табл. 10). Прежде всего надо отметить, что простые сульфиды по структуре и параметрам решетки сильно разнятся друг от друга. Наиболее близки между собой одна из модификаций Ag_2S — аргентит и галенит, но их параметры решетки

Таблица 10

Некоторые кристаллохимические свойства простых сульфидов меди, серебра и свинца

	Cu_2S	Ag_2S	PbS
Сингония	(α) — ромбическая $C_{2v}^{15} - A b m 2$ (β) — гексагональная $D_{6h}^4 C b / m m c$ (γ) — кубическая	(α) — моноклинная $C_{2h}^5 P 2 1 / C$ (акантит) (β) — кубическая $O_h^5 - I m 3 m$ (аргентит)	Кубическая $O_h^5 - I m 3 m$
Параметры решетки (Å)	(α) $a_0=11,8-11,9$ $b_0=27,2-27,3$ $c_0=13,41 (22,7)$ (β) $a_0=3,89$ $c_0=6,68$ γ $a_0=5,561$	(α) $a_0=9,47$ $b_0=6,92$ $c_0=8,28$ $\beta_0=124^\circ$ (β) $a^\circ=4,88$	5,93
Степень ионности связи*	56	40	55
Радиус металла*	1,07	1,24	0,90

* По С. С. Бацанову (1962).

значительно отличаются. Идентичность же пространственных групп приводит, очевидно, в этом случае к возможности проявления изоморфизма, хотя он, судя по экспериментальным данным (Van Hook, 1960), довольно ограничен.

В сложных свинцово-висмутовых сульфидовых взаимоотношения элементов могут иметь несколько иной кристаллохимический характер. С этой точки зрения наибольший интерес представляет сопоставление между собой степени ионности связи в простых сульфидов меди, серебра и свинца и величин эффективных радиусов этих элементов. По степени ионности эти соединения близки между собой. Что же касается эффективных радиусов элементов, то они более близки у меди и серебра (разница равна 19%), тогда как разница между величинами радиуса серебра и свинца составляет 38%, что ставит под сомнение возможность широкого изоморфизма между этими элементами.

Возможность изоморфизма по схеме $(\text{Cu}, \text{Ag})_2 \rightarrow \text{Pb}$ вызывает и ряд других возражений в силу различия в структурах простых сульфидов, различий в радиусах ионов, и, наконец, замены одного атома свинца двумя атомами меди или серебра. Правда, судя по доказанному изоморфизму в ряду висмутинов — айкиннит, где один ион висмута заме-

няется на два иона (Pb и Cu), в минералах рассматриваемой группы это возможно. Для окончательного решения этого вопроса необходимы дополнителные, и прежде всего экспериментальные исследования.

В то же время, если учесть, что на графике основная масса точек, особенно наиболее достоверных анализов, лежит ниже висмутин-айкинитовой прямой, то можно допустить, что анализы, попадающие на участок между этой прямой и осью абсцисс, относятся к механическим смесям соответствующих свинцово-висмутовых сульфосолей с теми или иными соединениями ряда висмутин — айкинит. Менее вероятны в этом случае, но возможны механические смеси свинцово-висмутовых сульфосолей с чистыми серебро-висмутовыми и медно-висмутовыми сульфосолями $Ag_2S \cdot 3Bi_2S_3$ (Van Hook, 1960), $Ag_2S \cdot Bi_2S_3$ (матильдит), $Cu_2S \cdot Bi_2S_3$ (эмплектит), $3Cu_2S \cdot 2Bi_2S_3$ (клапротит), $2Cu_2S \cdot Bi_2S_3$ (устное сообщение В. М. Сендеровой), $3Cu_2S \cdot Bi_2S_3$ (витихинит).

Таким образом, исходя из сказанного, нельзя согласиться с Падегой (Padega, 1956) и его последователями (Чухров, 1960; Чухров, Сендерова, Янченко, 1961), что единственным возможным путем вхождения меди (и серебра) в сульфосоли является изоморфное замещение или совместно со свинцом висмута в висмутине с образованием минералов ряда висмутин — айкинит.

Некоторые различия между минералами ряда висмутин — айкинит и минералами, для которых устанавливается обратная зависимость между содержанием меди (и серебра) и свинца при отношении (Cu+Ag) : Pb=2 : 1, выявляются при сопоставлении их рентгенограмм. Были рассмотрены дебаграммы, приведенные в работе Ф. В. Чухрова и др., считающиеся авторами практически идентичными. Небольшие различия между ними Чухров и др. склонны объяснять изоморфным замещением висмута в висмутине на свинец с компенсацией валентности медью. Однако при внимательном их сопоставлении выявляются более четкие отличия их друг от друга. Так, дебаграммы образцов 3 и 4 (ан. 35 и 38) ближе между собой, чем с дебаграммой образца 1 (ан. 32), дебаграмма образца 2 (ан. 28) занимает какое-то промежуточное положение между дебаграммами первых двух образцов и образца 1. При этом, если различия между дебаграммами образцов 3 и 4 можно объяснить изоморфизмом и в связи с этим постепенным незначительным изменением параметров решетки, то различия между ними и дебаграммой образца 1 объяснить уже гораздо труднее. На последней появляется новый интенсивный максимум правее максимума, соответствующего отражению от плоской сетки (111). Иная картина наблюдается и в центральной части дебаграммы. Учитывая, что различия в содержании свинца между этими образцами не столь уж велики (обр. 1—8,50, обр. 3—0,40, обр. 4—9,56 вес. %), указанные отличия в дебаграммах трудно объяснить с точки зрения изоморфизма. Скорее следует признать, что авторы изучали разнородный материал, имеющий, конечно, много общего в своей структуре. К сожалению, ан. 32, 35 и 38 относятся к разряду недостаточно достоверных и их положение на графике (см. рис. 15) недостаточно определено, но все-таки два последних находятся близко к рецбаниитовой прямой, а первый — к висмутин-айкинитовой.

Для выяснения целесообразности выделения в самостоятельный минеральный вид той или иной свинцово-висмутовой сульфосоли и для более полного представления о характере обратной пропорциональной связи между медью (и серебром) и свинцом рассмотрим прямые, соответствующие этой зависимости, для каждого из минералов в отдельности.

На устараситовой прямой и вблизи от нее оказываются один достоверный (ан. 28) и три недостаточно достоверных анализа (ан. 32, 60

и 61). Второй ее конец находится вблизи точки, соответствующей теоретическому составу павонита. Эти данные скорее свидетельствуют в пользу существования устарасита в качестве самостоятельного минерального вида, поскольку, если даже допустить, что промежуточные анализы относятся к механическим смесям павонита со свинцово-висмутовой сульфосолю, то последней, очевидно, должен быть устарасит.

Для канницарита практически все анализы располагаются вблизи точки, соответствующей его теоретическому составу, но, к сожалению, ни один из анализов из-за расхождений в величинах плотности с химическим составом нельзя считать достаточно надежным.

Вблизи чивититовой прямой и непосредственно на ней лежат три достоверных анализа — 64, 65, 320 (?), что подтверждает возможность существования этого минерала.

На рецбанитовой прямой находятся четыре достоверных анализа — ан. 37, 71, 72, 73 и пять недостаточно надежных — 38, 68, 69, 70, 74. Таким образом, если к рецбаниту относить вслед за Падерой, как это сейчас стало уже принято, изоморфные смеси ряда висмутинов — айкинит, то «минерал, близкий к рецбаниту» М. С. Сахаровой (1955), находящийся вблизи нижнего конца этой прямой, заслуживает выделения в самостоятельный минеральный вид.

Бросается в глаза, что галеновисмутитовая прямая практически свободна от промежуточных точек состава между галеновисмутитом и соответствующим по составу твердым раствором висмутинов — айкинит, тогда как выше прямой висмутинов — айкинит вблизи от нее находятся несколько недостоверных (77, 85а, 322) и одна достоверная точка (ан. 76). Учитывая что лишь один достоверный анализ (ан. 76) оказывается вблизи этой прямой, приходится признать, что для галеновисмутита не характерно замещение свинца медью (и серебром) и что в основном состав галеновисмутита близок к теоретической формуле $PbS \cdot Bi_2S_3$.

Для висмутового аналога джемсонита практически нет достоверных анализов¹⁹.

На виттитовой прямой оказывается один достоверный анализ, относившийся к козалиту (101 а), и три недостаточно достоверных: ан. 89, относящийся к бенжаминиту, ан. 99в — к виттиту и ан. 100а — к козалиту, поэтому вопрос о целесообразности выделения виттита в качестве самостоятельного минерального вида остается пока нерешенным.

На козалитовую прямую, как уже отмечалось, попадает большое количество как достоверных, так и недостаточно достоверных анализов. Важно отметить, что достоверные анализы практически отсутствуют на ее участке выше прямой висмутинов — айкинит. Находящийся же в этой части графика ан. 115а значительно удален от нее и, попадая на прямую галеновисмутит — аргентит (халькозин), скорее всего должен рассматриваться как относящийся к механической смеси названных минералов.

Вблизи бурсаитовой прямой находятся один достоверный и один недостаточно достоверный анализы, что не позволяет сделать какого-либо вывода относительно правомерности выделения этого минерала в качестве самостоятельного минерального вида.

На лиллианитовую прямую попадают точки двух достоверных (140, 136а?) анализов. Интересно, что оба образца содержат примесь

¹⁹ Так называемый висмутовый джемсонит М. С. Сахаровой (1955) содержит слишком много сурьмы. Учитывая факты по ограниченному изоморфизму между сурьмой и висмутом (Костов, 1957) в свинцово-висмутовых сульфосолях, И. Костов (1959) отнес его к соединениям типа двойных солей с отношением $Bi : Sb = 1 : 1$, предложив для его обозначения новый термин сахаравит. Поэтому его следует рассматривать отдельно, совместно с кобеллитом и близкими к нему минералами.

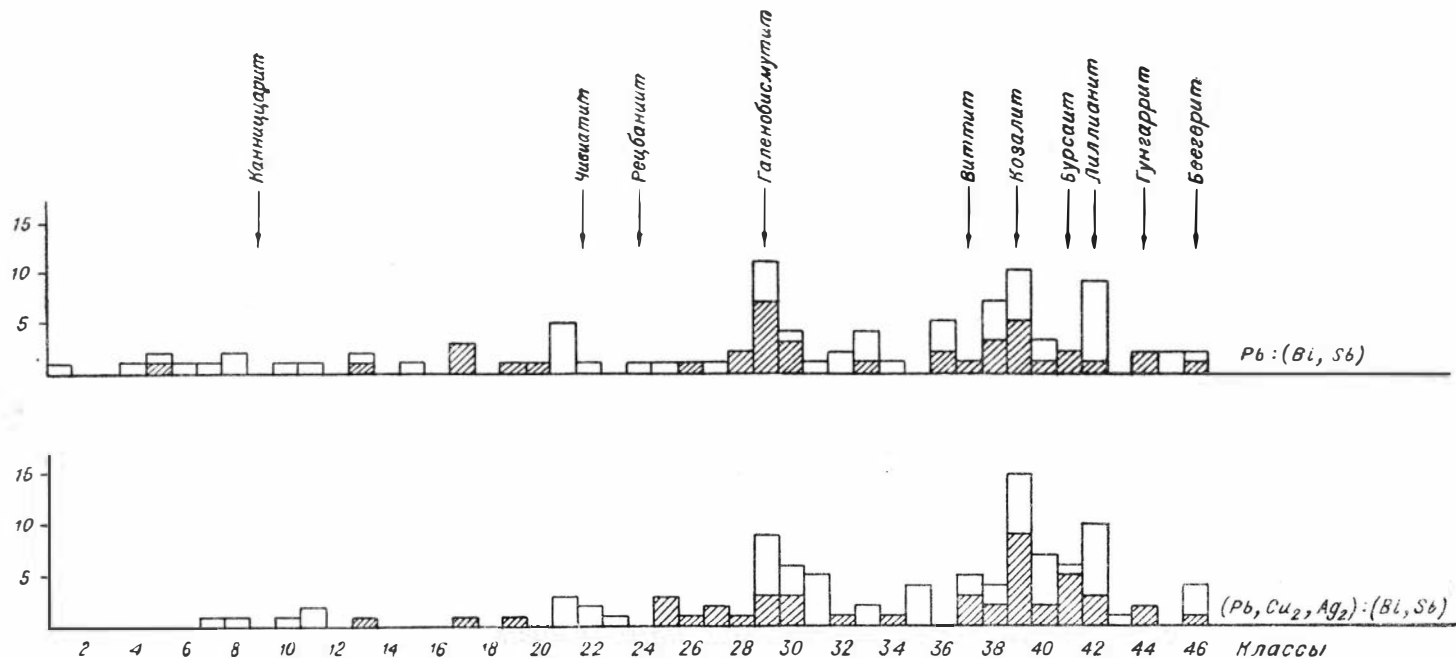


Рис. 17. Гистограмма распределения отношения $(Pb, Cu_2, Ag_2) : (Bi, Sb)$ — нижний график и $Pb : (Bi, Sb)$ — верхний график в минералах ряда висмутин — галенит. Висмутин, устарсит и галенит исключены. Заштрихованные участки соответствуют наиболее достоверным анализам, незаштрихованные — данным, полученным с учетом всех имеющихся анализов. Классы: 1 — 4,855—4,755; 2 — 4,755—4,655; 3 — 4,655—4,555; 4 — 4,555—4,455; 5 — 4,455—4,355; 6 — 4,355—4,255; 7 — 4,255—4,155; 8 — 4,155—4,055; 9 — 4,055—3,955; 10 — 3,955—3,855; 11 — 3,855—3,755; 12 — 3,755—3,655; 13 — 3,655—3,555; 14 — 3,555—3,455; 15 — 3,455—3,355; 16 — 3,355—3,255; 17 — 3,255—3,155; 18 — 3,155—3,055; 19 — 3,055—2,955; 20 — 2,955—2,855; 21 — 2,855—2,755; 22 — 2,755—2,655; 23 — 2,655—2,555; 24 — 2,555—2,455; 25 — 2,455—2,355; 26 — 2,355—2,255; 27 — 2,255—2,155; 28 — 2,155—2,055; 29 — 2,055—1,955; 30 — 1,955—1,855; 31 — 1,855—1,755; 32 — 1,755—1,655; 33 — 1,655—1,555; 34 — 1,555—1,455; 35 — 1,455—1,355; 36 — 1,355—1,255; 37 — 1,255—1,155; 38 — 1,155—1,055; 39 — 1,055—0,955; 40 — 0,955—0,855; 41 — 0,855—0,755; 42 — 0,755—0,655; 43 — 0,655—0,555; 44 — 0,555—0,455; 45 — 0,455—0,355; 46 — 0,355—0,255.

меди (и серебра) и лежат ниже линии висмутин — айкинит. Таким образом, существование лиллианита вполне вероятно, хотя для окончательного вывода по этому вопросу необходимы дополнительные исследования.

Более неопределенны данные по гунгарриту и беегериту. На гунгарритовой прямой оказываются, с одной стороны, два достоверных анализа (ан. 144 и 145), близкие к теоретическому составу $4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$, но отличающиеся некоторым количеством примесей меди и серебра, с другой — недостаточно достоверный анализ айкинита (ан. 335). На беегеритовой прямой — один достоверный анализ (ан. 146) и один недостоверный (ан. 149), располагающийся на значительном расстоянии от первого. Третий анализ (ан. 148) является недостаточно достоверным и лежит слишком далеко от беегеритовой прямой, чтобы его принимать во внимание.

Таким образом, на основании анализа химического состава природного материала среди промежуточных членов ряда висмутин — галенит с полной достоверностью можно выделять пока только два минерала — галенобисмутит и козалит. Менее достоверными, но вполне вероятными являются устарасит, чивиятит, минерал типа рецбаниита М. С. Сахаровой, лиллианит. Однако каждый из них нуждается в дополнительном изучении и подтверждении. Мало достоверными оказываются канницарит (бончевит), висмутовый аналог джемсонита (не сахаравоит!), виттит, бурсаит, гунгаррит и беегерит.

На гистограммах распределения в рассматриваемых минералах отношений $(\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2) : (\text{Bi}, \text{Sb})$ и $\text{Pb} : (\text{Bi}, \text{Sb})$ (рис. 17, нижний и верхний графики соответственно) также отчетливо выделяются прежде всего два минерала — галенобисмутит и козалит. В целом намечается некоторое сгущение анализов вблизи козалита, включая виттит, бурсаит и лиллианит. В остальных случаях наблюдается всего по одному — два и к тому же часто недостаточно достоверных анализа.

Из сказанного ясно и то, что при существующем положении трудно, опираясь на литературные данные, получить достоверные сведения относительно диагностических свойств отдельных минералов рассматриваемой группы и объяснить те несоответствия, которые имеются в справочной литературе.

Дополнительные сведения относительно целесообразности выделения того или иного самостоятельного вида в ряду $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{PbS}$ можно получить при физико-химическом изучении соответствующих систем. К сожалению, такие данные пока ограничены и во многом противоречивы.

Система $\text{PbS} - \text{Bi}_2\text{S}_3$ впервые экспериментально изучалась методами гидротермального синтеза Грэхемом, что явилось его диссертацией на степень доктора философии. К сожалению, подробно с этой работой ознакомиться не удалось, и о ней можно составить представление лишь по статье, посвященной «канницариту» (Graham, Thompson, Berry, 1953). Судя по последней работе, Грэхему удалось гидротермальным путем получить, кроме PbS и Bi_2S_3 , пять промежуточных фаз. Одна из них уверенно идентифицирована как галенобисмутит. Остальные имеют дебаеграммы, отличающиеся от таковых природных минералов этого ряда. Фазу 2 Грэхем, Томпсон и Берри на основании близости ее дебаеграммы к дебаеграмме «канницарита» Вольфе отнесли к «канницариту». Однако, как уже было разобрано выше, минерал Вольфе является не канницаритом, а бисмутоплагионитом. Подчеркивая самостоятельность фазы 2 и отличие ее от галенобисмутита, указанные авторы возрождают, таким образом, отвергнутые Пикоком (Дэна и др., 1950) представления о самостоятельности бисмутоплагионита.

Одна из промежуточных фаз (фаза 3) имеет дебаеграмму, близкую к дебаеграмме вейбуллита, хотя между ними и имеются определенные

различия. Две фазы (1 и 4) не описаны совсем. Из-за тесного срастания ни одна из фаз не подвергалась количественному химическому анализу, и лишь качественными испытаниями установлены в них Pb, Bi и S.

Система $PbS - Bi_2S_3$ методом пиросинтеза исследовалась Ван Хуком (Van Hook, 1961). Однако, поскольку основной его задачей было выяснение условий и пределов вхождения серебра в галенит, Ван Хук рассмотрел эту систему поверхностно, сконцентрировав основное внимание на ее участке, близком к PbS . Им было установлено, что при высокой температуре в PbS растворяется до 9 мол. % Bi_2S_3 и что с понижением температуры эта величина уменьшается, достигая при 500° примерно 4 мол. %. Остальную часть диаграммы состояния, приводимой Ван Хуком, следует рассматривать как ориентировочную, поскольку число точек в ней недостаточно и, что самое главное, как отмечает сам автор, во многих случаях равновесное состояние им, очевидно, не достигалось. В этой части диаграммы Ван Хук не спускался ниже температур в 550° . Им было выделено три промежуточные фазы, одна из которых соответствует галенобисмутиту (около 50 мол. % Bi_2S_3), другая — лиллианиту (25 мол. % Bi_2S_3), третья — примерно составу $5PbS \cdot Bi_2S_3$ (16 мол. % Bi_2S_3), т. е. висмутовому аналогу иорданита ($5PbS \cdot As_2S_3$) и шульцита ($5PbS \cdot Sb_2S_3$).

Рассматривая вопрос о возможности существования беегерита, Ван Хук пишет, что «...фаза галенита, соответствующая составу, даваемого для беегерита (14,3 мол. % Bi_2S_3), не устойчива в бинарных составах, так как максимальная растворимость в твердом состоянии для эвтектики равна 9 мол. % Bi_2S_3 , но отношение PbS к Bi_2S_3 , равное 6 : 1, вполне возможно в тройных и четверных системах» (стр. 775). При этом особую роль он отводит серебру, подчеркивая, что известен природный беегерит, содержащий значительное количество этого элемента.

В заключительной части работы, посвященной системе $PbS - Bi_2S_3$, Ван Хук пишет: «Необходимы дополнительные экспериментальные исследования в богатой Bi_2S_3 части этой системы. Синтетические аналоги известных сульфосолей не найдены в настоящем исследовании и очевидно образуются субсолидусными реакциями ниже изученных температур. Возможно также, что в этих составах не было достигнуто равновесие. В любом случае для интерпретации подобных фазовых ассоциаций в природе необходимо определение устойчивых субсолидусных взаимоотношений» (стр. 776).

Наконец, недавно опубликована работа по четверной взаимной системе $PbS - PbSe - Bi_2S_3 - Bi_2Se_3$ (Малевский, Рихтер, Верес, 1963), в которой авторы приводят результаты физико-химического исследования отдельных разрезов указанной системы и пытаются на этой основе интерпретировать природные данные²⁰.

²⁰ Изучение системы $PbS - PbSe - Bi_2S_3 - Bi_2Se_3$ было начато в Кабинете экспериментальной минералогии ИМГРЭ под руководством автора настоящей работы в 1958—1959 гг. до его перехода в Институт геологии и геофизики СО АН СССР. Первоначальной целью исследования было выяснение целесообразности выделения тех или иных сульфосолей в качестве самостоятельных минеральных видов. Такая постановка вопроса вызывалась, с одной стороны, большой путаницей в номенклатуре минералов этого ряда, с другой — неясной ролью в них селена.

Поскольку сульфид висмута ромбический, а селенид — тригональный, было очевидно, что среди рассматриваемых минералов необходимо выделять по крайней мере две большие группы: ромбические — на базе сульфида висмута и тригональные — на базе его селенида. При этом предполагалось для решения всех этих вопросов широко привлечь как природный материал, так и данные по гидротермальному синтезу. К сожалению, указанные авторы впоследствии значительно сузили задачу исследования, что, естественно, не могло не отразиться и на его качестве.

Ими утверждается, что в указанной системе существует по крайней мере 10 кристаллических фаз: 1) кубические соединения ряда $PbS - PbSe$, образующие непрерывный ряд твердых растворов; 2) фаза, аналогичная природному гунгарриту — $Pb_4 Bi_2 (S_x Se_{1-x})_7$ — игольчатая; 3) козалит — лиллианитовый твердый раствор состава $Pb_{3-y} Bi_2 (S_x Se_{1-x})_{6-y}$ — игольчатый; 4) пластинчатая фаза, состав которой может быть выражен той же формулой; 5) игольчатая фаза состава $Pb Bi_2 (S_x Se_{1-x})_4$, включающая и галенобисмутит; 6) пластинчатая фаза, состав которой может быть выражен той же формулой, аналогична вейбулиту; 7) игольчатая фаза состава $Pb Bi_4 (S_x Se_{1-x})_7$, включающая канницарит; 8) пластинчатая фаза с той же формулой, включающая селеновый аналог канницарита; 9) висмутин; 10) пластинчатый тригональный $Bi_2 Se_3$.

Таблица 11

Промежуточные фазы в системах $PbS - Bi_2 S_3$ и $PbSe - Bi_2 Se_3$, согласно исследованиям различных авторов

По Шенку и др.	По Ван Хуку	По Малевскому и др.	По Елагиной
$Pb_6 Bi_2 S_3$	—	—	—
—	$Pb_5 Bi_2 S_8$	—	—
—	—	$Pb_4 Bi_2 (S_x Se_{1-x})_7$	—
$Pb_3 Bi_2 S_6$	$Pb_3 Bi_2 S_6$	$Pb_{3-y} Bi_2 (S_x Se_{1-x})_{6-y}$	—
—	—	—	$Pb_3 Bi_1 Se_9$
$Pb Bi_2 S_4$	$Pb Bi_2 S_4$	$Pb Bi_2 (S_x Se_{1-x})_4$	$Pb Bi_2 Se_4$
—	—	$Pb Bi_4 (S_x Se_{1-x})_7$	$Pb Bi_4 Se_7$

Таким образом, только в ряду $PbS - Bi_2 S_3$ названными авторами установлено, кроме PbS и $Bi_2 S_3$, четыре промежуточные фазы. Однако между этими фазами и фазами, выделяемыми Ван Хуком, нет соответствия. Имеются расхождения и с системой $PbSe - Bi_2 Se_3$, фазовая диаграмма для которой исследовалась Е. И. Елагиной (1961). Отмеченные расхождения между данными отдельных исследователей особенно четко выявляются при их сопоставлении (табл. 11). Единственной промежуточной фазой, отмечаемой во всех трех случаях, является фаза, соответствующая галенобисмутиту (вейбулиту). Указываемые А. Ю. Малевским и др. отклонения в составе этой фазы от стехиометрического состава $Pb Bi_2 S_4$, очевидно, случайны и объясняются тем, что названные авторы о химическом составе своих фаз судят не по данным химического анализа, а по соотношению веществ в исходных навесках. В то же время эти соотношения нарушаются не только потерями при отпайке ампулы перед опытом и в результате диссоциации, поскольку $Bi_2 S_3$ обладает значительной упругостью пара, но и тем, что авторами для синтеза использовался висмут марки «чистый», содержащий, согласно ГОСТу, до 3,5 весовых процента свинца.

Фазы состава $Pb_3 Bi_2 S_6$ Ван Хука и Шенка попадают, согласно Малевскому и др., в область твердых растворов $Pb_{3-y} Bi_2 (S_x Se_{1-x})_{6-y}$, тогда как ни Ван Хук, ни Шенк твердых растворов здесь не получили. В остальном результаты перечисленных исследователей совпадают еще меньше, если не считать, что и Елагиной, и Малевским, и другими установлено соединение, близкое к канницариту и его селенистому аналогу.

Надо учесть также, что Е. И. Елагина при проведении экспериментальной части не спускалась ниже температур 550—600°, а Малевский и

др. — ниже 700—800°, т. е. все они имели дело с температурами, близкими к линии солидуса. Однако, как отмечал Ван Хук, в природе могут существовать и соединения, образующиеся при субсолидусных реакциях, протекающих при более низкой температуре. Новые соединения могут возникать и гидротермальным путем, на что указывают ранее рассмотренные исследования Грэхема.

Нам кажется, что для окончательного решения вопроса о номенклатуре минералов рассматриваемого ряда у А. Ю. Малевского и др. пока еще имеется мало данных, тем более, что этому выводу не предшествовало критическое рассмотрение материала по химическому составу природных минералов. Пересчеты, предпринятые авторами, на наш взгляд неудовлетворительны, поскольку при них не учитывалась роль меди и серебра, ни роль других элементов-примесей. Не учитывали авторы и достоверность анализов, используемых для выводов. В заключительной части рассматриваемой работы представляет интерес указание на пластинчатый облик вейбуллита и на отличие его дебаеграммы от дебаеграммы галенобисмутита.

Реакции в системе $PbS - Bi_2S_3$ изучались методом восстановительного разложения в токе $H_2 - H_2S$ Шенком и др. (Schenck, Hoffmann, Kperreg, Vögler, 1939). Было доказано существование при 500° трех промежуточных соединений с отношением $PbS : Bi_2S_3$, равным 6 : 1, 3 : 1 и 1 : 1, причем разница в теплотах образования этих соединений очень мала. Ими же было установлено, что при 500°С PbS может растворять до 9,3 мол. % Bi_2S_3 . Последнее, а также существование соединения $3PbS \cdot Bi_2S_3$ позже было подтверждено Ван Хуком. Большой интерес представляет установление Шенком и сотрудниками соединения, соответствующего по составу беегериту. Такое соединение никем больше не было получено.

Таким образом, экспериментальными исследованиями пока, бесспорно, устанавливается единственная промежуточная фаза, соответствующая по составу галенобисмутиту. Кроме того, одним или двумя исследователями указываются фазы, соответствующие беегериту, висмутовому аналогу шульцита, гунгарриту, лиллианиту, твердому раствору лиллианит — козалит, канницариту. Однако выделение этих фаз не подтверждено исследованием системы $PbS - Bi_2S_3$ по крайней мере в одном, двух, а то и в трех случаях.

Все это указывает на необходимость дополнительного исследования системы $PbS - Bi_2S_3$ (так же, как и систем $PbSe - Bi_2Se_3$ и $PbS - PbSe - Bi_2S_3 - Bi_2Se_3$) методами как пиросинтеза, так и гидротермального синтеза. Необходимо более обстоятельное изучение этих систем с участием в них серебра и меди, а также установление надежных диагностических признаков, характеризующих каждую из получающихся фаз, а следовательно, и минералов.

Исследования в этом направлении ведутся в настоящее время с широким использованием рентгенографических, оптических и др. методов с привлечением природного материала в лаборатории экспериментальной минералогии ИГиГ СО АН СССР.

Остановимся кратко на роли селена в рассматриваемых минералах и возможности существования среди них субсоединений. Экспериментальными исследованиями было показано (Бегларян, Абрикосов, 1959; Дьячкова, 1961), что в системе $Bi_2S_3 - Bi_2Se_3$, с одной стороны, имеется широкая область твердых растворов с ромбической структурой на базе Bi_2S_3 с замещением серы селеном почти до состава Bi_2Se_2S и, с другой стороны, наблюдается ограниченный изоморфизм между селеном и серой на базе тригонального Bi_2Se_3 . Этим обуславливается выделение среди рассмот-

ренных минералов двух больших групп: игольчатых сульфосолей, со структурой, близкой к структуре висмутинна, и пластинчатых сульфосолей со структурой, близкой к структуре тригонального Bi_2Se_3 . Пластинчатый характер сульфосолей, богатых селеном, подчеркивался неоднократно и ранее при их описании, а одному из этих минералов именно по этому свойству дано название платинит. Правильность такого подхода подтверждается и экспериментальными исследованиями (Малевский и др., 1963).

При дальнейшем изучении минералов рассматриваемой группы необходимо особое внимание сконцентрировать на субсоединениях, в которых висмут имеет валентность ниже двух. К ним относятся не только лайтакариит и икунолит, целесообразность выделения которых подтверждается как приведенным выше фактическим материалом по химическому составу природных минералов, так и экспериментальными исследованиями (Годовиков и др., 1965), но и некоторые сульфосоли. Среди последних наибольший интерес представляют так называемый козалит с Сохондинского месторождения с эмпирической формулой $\text{PbS} \cdot \text{BiS}$ (ан. 103) и платинит. Большое значение будет иметь изучение этой группы соединений экспериментальным путем.

Из рассмотрения имеющихся данных вытекает также, что нельзя подходить формально к выделению тех или иных минеральных видов, беря за основу, главным образом, соотношение $\text{Pb} : \text{Bi}$, как это делает, например, Костов (1957). Тем более необходимо точно привязывать все данные по плотности и другим свойствам, используемым в выводах, к вполне определенному материалу, имеющему химическую характеристику. Учитывая сказанное, к таблице перечня известных и вероятных свинцово-висмутовых сульфосолей, приведенной Костовым (см. табл. 2), следует относиться осторожно. Она была бы оправдана в таком виде, если бы мы имели дело не с рядом самостоятельных химических соединений в ряду свинцово-висмутовых сульфосолей, а с непрерывным рядом твердых растворов от Bi_2S_3 до PbS с многочисленными упорядоченными структурами при целочисленном соотношении компонентов.

Однако, судя по сказанному, этому противоречат результаты исследования как природных, так и синтетических продуктов, доказывающие существование в ряду висмутинов — галенит не непрерывного изоморфизма с заменой висмута свинцом, а наличие ряда самостоятельных соединений.

Очевидно нельзя согласиться и с «эмпирическим» выводом Костова, что формулу неизвестной сульфосоли можно получить простым сложением формул ее ближайших соседей. В этом случае можно складывать крайние члены до бесконечности и снова прийти к непрерывному ряду твердых растворов от Bi_2S_3 до PbS , чего фактически не наблюдается.

Наконец, еще раз обратим внимание на то, что при изучении состава свинцово-висмутовых сульфосолей нельзя совершенно игнорировать возможность образования окисульфидов. Это обстоятельство следует учитывать как при изучении соответствующих природных минералов, так и при исследовании синтетических продуктов. Особый интерес с этой точки зрения представляет введение в сферу синтеза окислов висмута и изучение системы $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{Bi}_2\text{O}_3$.

В заключение автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность Л. А. Годовиковой, проведшей предварительное редактирование рукописи и помогавшей в ее оформлении, Г. Р. Колонину — за помощь в сборе некоторых исходных данных, Н. Л. Добрецову и В. В. Хлестову — за помощь при знакомстве с методами математической статистики, В. А. Пестиной и О. А. Карпушиной — за помощь в технической подготовке рукописи.

- Абрикосов Н. Х., Банкина В. Ф., Харитонович К. Ф. (1960). Исследования диаграммы состояния системы $Bi-Se$.— *Ж. неорг. хим.*, № 9.
- Алявдин В. Ф., Бетехтин А. Г. (1940). Галенит.— *Минералы СССР*, т. 2, Изд-во АН СССР, М.—Л.
- Арапов Ю. А. (1934). Минералогия и геохимия Кансайского месторождения.— *Тр. Таджикско-Памирской экс.*, вып. 49.
- Бабкин П. В. (1958). О некоторых селеновых и селеносодержащих минералах.— *Матер. по геол. и полезн. ископ. Северо-Востока СССР*, вып. 13, Магадан.
- Бабкин П. В., Рожков Ю. П. (1961). Новый тип оловянного оруденения.— *Матер. по геол. и полезн. ископ. Северо-Востока СССР*, вып. 15.
- Барабанов В. Ф. (1957). Козалит с Букукинского месторождения.— *Докл. АН СССР*, т. 112, № 5.
- Барабанов В. Ф. (1961). Минералогия вольфрамитовых месторождений Восточного Забайкалья. Изд-во Ленингр. ун-та, Л.
- Бацанов С. С. (1962). Электроотрицательность элементов и химическая связь. Изд-во СО АН СССР, Новосибирск.
- Бегларян М. А., Абрикосов Н. Х. (1959). Исследование системы $Bi_2S_3-Bi_2Se_3$.— *Докл. АН СССР*, т. 128, № 2.
- Бетехтин А. Г. (1950). Минералогия. Госгеолиздат, М.
- Бокий Г. Б. (ред.) (1964). Сб. Кристаллические структуры арсенидов, сульфидов, арсеносульфидов и их аналогов. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР.
- Бонштедт-Куплетская Э. М. (1960). Айкинит.— *Минералы*, т. 1. Изд-во АН СССР, М.
- Васильев В. В., Муратова Н. Е. (1962). Синтез галенита.— Сб.: Фазовый химический анализ руд и минералов. Изд-во Ленингр. ун-та, Л.
- Вейц Б. И., Покровская И. В., Болгов Г. П. (1957). Минералогия полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Изд-во АН КазССР, Алма-Ата.
- Вернадский В. И. (1954). Висмут в земной коре.— *Заметки о распространении химических элементов в земной коре VII*.— *Избранные сочинения*, т. 1. Изд-во АН СССР, М.
- Вернадский В. И. (1959). Опыт описательной минералогии, т. 2.— *Избр. соч.*, т. III. Изд-во АН СССР, М.
- Вистелиус А. Б. (1948). Мера связи между членами парагенезиса и методы ее изучения.— *Зап. Всесоюзн. минералог. об-ва*, ч. 80, вып. 1.
- Вистелиус А. Б. (1956). Проблема изучения связи в минералогии и петрографии.— *Зап. Всесоюзн. минералог. об-ва*, ч. 85, вып. 1.
- Вол А. Е. (1962). Строение и свойства двойных металлических систем. Физматгиз, М., т. 2.
- Газизова К. С. (1962). Основные черты геологии и минералогии Гульшадского месторождения (Центральный Казахстан). Изд. АН КазССР, Алма-Ата.
- Гварамадзе Н. Д. (1960). К вопросу о содержании висмута в некоторых сульфидах Грузии.— *Сообщения АН ГрузССР*, т. 25, № 6.
- Гиджева-Павлович Т. (1961). Бисмутовые минералы и някои данни върху рудните минерализации от месторождение «Мусомище».— *Списание Бълг. геол. дружество*, т. 22, № 1.
- Годовиков А. А. (1962). Рентгенографическое исследование отдельных представителей системы $Bi-Se$.— *Ж. структ. хим.*, т. 3, № 1.
- Годовиков А. А., Кляхин В. А. (1966). О гуанахуатите и парагуанахуатите. Геология и геофизика (в печати).
- Годовиков А. А., Ильяшева Н. А., Кляхин В. А., Кузнецов Г. Н., Павлюченко В. С., Попова Н. Н., Федорова Ж. Н. (1965). Новые данные

ти: физико-химическому изучению системы $\text{Bi} - \text{Se}$. — Сб.: Матер. по генетич. и эксперимент. минерал., т. 3, Изд-во СО АН СССР, Новосибирск.

Годовиков А. А., Сахарова М. С. (1963). Некоторые замечания об интерпретации результатов химических анализов сульфидных и близких к ним минералов (по поводу работ Ю. С. Нестеровой). — Геология и геофизика, № 8.

Годовиков А. А., Ферьянчич Ф. А. (1960). Находка в СССР редкого селенида висмута — лайтакарита. — Геология и геофизика, № 10.

Годовиков А. А., Ферьянчич Ф. А. (1963). О селениде висмута — лайтакарите. — Сб.: Матер. по генетич. и эксперимент. минерал., т. 1, Изд-во СО АН СССР, Новосибирск.

Гутерман И. В., Иванова К. Г. (1939). Математические таблицы. ОНТИ, М.

Демин И. В., Попова А. А. (1949). Первые находки гуанахуатита на Северо-Востоке СССР. — Матер. по геол. и полезн. ископ. Северо-Востока СССР, вып. 6, Магадан.

Демина М. Е. (1960). К морфологии цирконов из песчаных отложений юга Средней Азии. — Зап. Всесоюзн. минералог. об-ва, ч. 89, вып. 5.

Добрецов Н. Л. (1959). О взаимосвязи между главными ионами ромбических пироксенов и их влиянии на оптические свойства минерала. — Зап. Всес. минералог. об-ва, ч. 88, вып. 6.

Добрецов Н. Л. (1962). О пределах смешимости и средних составах жадеитовых пироксенов. — Докл. АН СССР, т. 146, № 3.

Доломанова Е. И. (1959). Оловянно-вольфрамовые месторождения Ингодинского рудного узла и их генетические особенности. Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 23.

Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондел К. (1950). Система минералогии, т. 1, полумом И. Изд-во иностр. лит., М.

Дьячкова И. Б. (1961). Об изоморфизме минералов в системе $\text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{Bi}_2\text{Se}_3$. — Тр. ИМГРЭ, вып. 7.

Елагина Е. И. (1961). Исследование системы $\text{PbSe} - \text{Bi}_2\text{Se}_3$. — Сб.: Вопр. металлургии и физики полупроводников. Изд-во АН СССР, М.

Еиикеев М. Р. (1959). Галенит из Юго-Западного Кармазара. — Зап. Узбек. отделения Всесоюзн. минералог. об-ва, вып. 13.

Еникеева Г. Н. (1959). Гипогенная минерализация полиметаллических месторождений Центрального Казахстана. — Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 23.

Ермилова Л. П. (1960). Висмутин. — Минералы, т. 1, Изд-во АН СССР, М.

Ермилова Л. П., Сендеров В. М. (1955). О находке козалита в Центральном Казахстане. — Докл. АН СССР, т. 105, № 6.

Жариков В. А. (1959). Геология и метасоматические явления скарново-полиметаллических месторождений Западного Кармазара. — Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 14.

Жерве Фр. (1900). Работа лаборатории Министерства финансов за период с 1887 по 1898 г. включительно (ан. 3135). — Горный журнал, год. 76, т. 2.

Запryanова Н., Христова Р. (1960). Козалитът от Гоцделчевско. — Списание Бълг. геол. дружество, т. 21, № 1.

Каленов А. Д. (1962). Козалит из Восточной Монголии. — Докл. АН СССР, т. 142, № 2.

Карпова Е. Д. (1946). О рудоносных скарнах Кармазара и Могол-Тау. — Зап. Всесоюзн. минералог. об-ва, ч. 75, № 3.

Костов И. (1957). К вопросу об изоморфизме среди минералов сульфосолей. — Зап. Всесоюзн. минералог. об-ва, ч. 86, № 3.

Костов И. (1959). Висмутовый джемсонит или сахароваит — новый минеральный вид. — Тр. Минералог. музея АН СССР, вып. 10.

Костылева Е. Е. (1960). Галенит. — Минералы, т. 1, Изд-во АН СССР, М.

Кузнецов С. Д. (1913). К минералогии Забайкалья. II. Месторождения висмута и висмутового блеска. — Изв. АН СПб., VI серия, т. 4, № 9.

Малевский А. Ю. и др. (1963). О свинцово-висмутовых сульфосолях и изоморфном замещении в них серы селеном. — Тр. ИМГРЭ, вып. 18.

Малиновский Ф. М. (1955). О сульфидоносных фосфоритах Подолии. — Зап. Всесоюзн. минералог. об-ва, ч. 84, вып. 1.

Минералы (1960). Справочник под ред. Э. М. Бонштедт-Куплетской и Ф. В. Чухрова, т. 1. Изд-во АН СССР, М.

Михеев В. И. (1957). Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, М.

Нестерова Ю. С. (1958). К вопросу о химическом составе галенитов. — Геохимия, № 7.

Нестерова Ю. С. (1960). О химических исследованиях блеклых руд. — Известия АН СССР, сер. геол., № 1.

Нестерова Ю. С. (1961). О химическом составе сфалеритов. — Тр. минералог. музея АН СССР, вып. 11.

Нечелюстов Н. В., Попова Н. Н., Минцер Э. Ф. (1962). Об изоморфизме селена и теллура в валенте. — Геохимия, № 11.

Онтоев Д. О. (1959). Лиллианит Букукинского месторождения и условия его образования — Докл. АН СССР, т. 126, № 4.

Онтоев Д. О., Ниссенбаум П. Н., Органова Н. И. (1960). Природа высоких содержаний висмута и серебра в галенитах Букукинского месторождения и некоторые вопросы изоморфизма в системе $PbS - Ag_2S - Bi_2S_3$. — Геохимия, № 5.

Пилипенко П. П. (1915). Минералогия Западного Алтая. Томск.

Плохинский Н. А. (1961). Биометрия. — Изд-во СО АН СССР. Новосибирск.

Покровский П. В. (1941). Гунгаррит. Сб.: Минералогия Урала, т. 2, Изд-во АН СССР, М.—Л.

Попов В. М. (1935). Геологические наблюдения и полезные ископаемые в Кетмень-Тюбинском районе (Киргизия). — Тр. Киргизской комплексной экспед., т. II, ч. 5.

Прокопенко Н. М. (1935). Свинцовые месторождения гор Ковак-Тау. — Тр.

Киргизской комплексной экспед., т. II, ч. 5.

Радкевич Е. А. (1959). О сульфостаннатах в касситерито-сульфидном Синанчинском месторождении Южного Приморья. — Тр. ИГЕМ, вып. 18.

Радкевич Е. А., Лобанова Г. М., Томсон И. Н., Бородаев Ю. С., Мозгова Н. Н., Хетчиков Л. Н., Александров А. И., Соляников В. П., Смирнов С. И. (1960). Геология свинцово-цинковых месторождений Приморья. — Тр. ИГЕМ, вып. 34.

Радонова Т. Г. (1961). Беегерит из рудника Радка Панагюрского района. — Докл. Болг. Акад. наук, т. 14, № 3.

Рамдор П. (1962). Рудные минералы и их сростания. Изд-во иностр. лит., М.

Рукавишников Ф. И. (1941). Висмутин., Сб.: Минералогия Урала, т. 2. Изд-во АН СССР, М.—Л.

Салтыкова В. С. (1959). Анализы минералов, содержащих редкие элементы, выполненные химической лабораторией института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов за 1954—1957 гг. — Тр. ИМГРЭ, вып. 2.

Сатпаева Т. А. (1949). Рудообразующие минералы Джекказганского месторождения. Изд-во АН КазССР, Алма-Ата.

Сахарова М. С. (1955). О висмутовых сульфосолях Устарасайского месторождения. — Тр. Минералог. музея АН СССР, вып. 7.

Сегал Б. И., Семендяев К. А. (1962). Пятизначные математические таблицы. Физматгиз, М.

Семилетов С. А. (1954). Электронографическое исследование структуры сублимированных слоев состава $Bi - Se$ и $Bi - Te$. — Тр. Ин-та кристаллографии, вып. 10.

Семилетов С. А., Пипскер З. Г. (1955). Электронографическое исследование системы сплавов $Bi - Se$. — Докл. АН СССР, т. 100, № 6.

Серебряная Н. Р. (1962). Об изоморфном вхождении таллия в кристаллическую структуру галенита. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, ч. 92, вып. 2.

Сидоренко А. В. (1946). Галенит из жильных месторождений Западного Колет-Дага. — Изв. Туркменского филиала АН СССР, № 3—4.

Синдеева Н. Д. (1959). Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. Изд-во АН СССР, М.

Синдеева Н. Д., Годовиков А. А. (1959). Об изоморфизме между серой и теллуrom в галените. — Докл. АН СССР, т. 127, № 2.

Скрипин А. Д. (1941). Джалиндинское висмuto-золоторудное месторождение. — Сов. геология, № 2.

Смолянинов Н. А. (1940). Линдстремит. — Минералы СССР, т. 2. Изд-во АН СССР, М.—Л.

Солодовникова Л. Л. (1927). Беегерит из рудника Юлия Минусинского уезда Енисейской губернии. — Докл. АН СССР, № 18.

Федорович Б. А., Штейнвальд Э. Ф. (1935). Некоторые рудные месторождения гор Ковак-Тау в Тяньшане. — Тр. Киргиз. комплекс. экспед., т. 1, ч. IV.

Фурман Е. П. (1953). О минералах, выполняющих внутренние полости фосфоритовых конкреций Подоли. — Минералог. сб. Львовского геол. об-ва, № 7.

Хансен М., Андерко К. (1962). Структуры двойных сплавов, т. I. Металлургия, М.

Хетчиков Л. Н. (1958). К вопросу о содержании висмута в галените. — Сообщ. Дальневосточного филиала АН СССР, вып. 9.

Цигикалова Т. Н. (1959). Об айкините из месторождения Акчагыл. Сб.: Матер. по геол. рудных месторожд. петрографии, минералогии и геохимии. Изд-во АН СССР, М.

Чухров Ф. В. (1944). О галените с октаэдрической отдельностью из месторождения Акчагыл в Казахстане. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, ч. 73, вып. 2—3.

Чухров Ф. В. (1960). Минералогия и зональность Восточного Коунрада. — Тр. ИГЕМ, вып. 50.

Чухров Ф. В., Сендерова В. М., Янченко М. Т. (1961). О содержании свинца и меди в висмутиних из Северо-Коунрадского месторождения. — Тр. Минералог. музея АН СССР, вып. 11.

Шадлун Т. Н. (1940). Козалит. — Минералы СССР, т. 2, Изд-во АН СССР, М.—Л.

- Шорт М. Н. (1934). Микроскопическое определение рудных минералов. ОНТИ. М.
- Штейнвальд Э. Ф. (1935). Геологическая характеристика и полезные ископаемые маршрута Фрунзе, Кокемерен, Джумгол (Киргизия).—Тр. Киргизской комплекс. экспед., т. II, ч. б.
- Штрунц Х. (1962). Минералогические таблицы. Под ред. А. С. Поваренных. Госгортехиздаг, М.
- Эфендиев Г. Х. (1957). Гидротермальный рудный комплекс северо-восточной части Малого Кавказа. Изд-во АН Азербайджанской ССР. Баку.
- Юрк Ю. Ю., Шнюков Е. Ф. (1958). Рудные минералы Криворожской железорудной полосы. Изд-во АН УССР, Киев.
- Юшко С. А. (1948). Минералогическая ассоциация и последовательность кристаллизации в рудных месторождениях Нагольского кряжа (Донецкий бассейн).—Тр. МГРИ, т. XXIII.
- Янишевский Е. М. (1940). Бисмутинит.—Минералы СССР, т. 2. Изд-во АН СССР. М.
- Янулова М. К., Поток С. И. (1956). О висмутовом минерале Карагайлинского месторождения.—Изв. АН КазССР, сер. геол., вып. 25.
- Ahlfeld Fr. (1926). Zinkteallit und Alaskait aus Bolivien. Cbl. Min. usw. (См. Ahlfeld Fr., Muñoz Reyes J., (1938)).
- Ahlfeld Fr. (1932). Der Wismutberg Tasna (Bolivien). Zts. prakt. Geol., 40 Jahrg. Hf. 8.
- Ahlfeld Fr., Muñoz Reyes J. (1938). Mineralogie von Bolivien. Berlin, Verlag von Gebrüder Borntraeger.
- Atterberg (1874). Om ett selenhaltig mineral från Falu grufva. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 2.
- Bankroft H. (1910). Notes on tungsten deposits near Deer Park, Washington. Bulletin of the United States Geological Survey, № 430.
- Bechi (1826)*. Amer. Journ. Sci., Vol. 14.
- Bernauer F. (1932). Rezente Erzbildung auf der Insel Vulcano. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. 17, Teil 1.
- Berry L. G. (1940). Studies of mineral sulphosalts: IV—Galenobismutite and «lillianite». Amer. Miner., Vol. 25, № 11.
- Berry L. G. (1943). Studies of mineral sulphosalts: VII—A systematic arrangement on the basis of cell dimensions. Univ. Toronto Studies, Geol. ser., Vol. 48.
- Bloem J., Kröger F. A. (1956). The P—T—X phase diagram of the lead-sulphur system. Zts. phys. Chemie, Neue Folge, Bd. 7, Hf. 1—2.
- Blum J. R. (1863). Pseudomorphosen des Mineralreichs. 3-er Nachtrag, Berlin.
- Borgström L. H. (1910). Mineralogiska notiser 7—10. 7. Selenhaltig Lillianit från Liljårvä; 8. Blyglans från Uskela. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 32.
- Brun A. (1881). Bull. Soc. Miner. France, t. 4.
- Brunlechner (1884)*. Mineralogie der Kärnten.
- Carnot M. A. d. (1874). Sur quelques minéraux de bismuth et de tungstène de la mine de Meymac (Corrèze). Acad. Sci., Comptes rendus, t. 79.
- Castillo Don Ant. (1874). Ueber eine neue Mineral—Species des Wismuths. Neues Jahrb. Miner. usw.
- Chapman E. J. (1847). An examination and analysis of the «nadelerz», or needle ore of bismuth. Phil. Mag., Vol. 31.
- Chapman C., Stevens R. E. (1933). Silver and bismuth-bearing galena, Leadville, Colorado. Econ. Geol., Vol. 28, № 7.
- Chayes F. (1960). On correlation between variables of constant sum. Journ. Geophysical Research, Vol. 65, № 12.
- Coleman R. G. (1959). The natural occurrence of galena—clausthalite solid solution series. Amer. Miner., Vol. 44, № 1—2.
- Doelter C., Leitmeier H. (1926). Handbuch der Mineralchemie. Bd. 4, Erste Hälfte, Dresden und Leipzig.
- Domeyko I. (1879). Mineralogia. 3-a ed., Santiago.
- Dönges E. (1951). Über Tellurohalogenide des dreiwertigen Antimons und Wismuts und über Antimon—und Wismut (III)—tellurid und Wismut (III)—selenid. Zts. anorg. Geol. Chemie, Bd. 265, Hf. 1—3.
- Earley J. W. (1950). Description and synthesis of selenide minerals. Amer. Miner., Vol. 35.
- Emmons, Irving, Loughlin (1927). Leadville mining district, Colorado. U. S. Geol. Sur., Prof. Paper, 148.
- Fernandez V. (1873)*. La Republica. 13-VII (Zts. Kryst., Bd. I, 1877).
- Flink Gust. (1910). Bidrag till Sveriges mineralogi II. Ark. Kemi, Min. Geol., Bd. 3, Hf. 6.

* Doelter C., Leitmeier H. (1926). (Здесь и дальше).

- Friedrich K. (1907). Die Schmelzdiagramme der binären Systeme Bleiglanz.—Magnetkies und Bleiglanz—Schwefelsilber. Metallurgie, IV Jahrg., Hf. 14.
- Friedrich K. (1908). Die Zinkblende als Steinbildner. Metallurgie, Bd. 5, Hf. 4.
- Forbes D. (1865). Researches on the mineralogy of South America. Phil. Mag., Vol. 29.
- Frenzel A. (1874). Mineralogisches von August Frenzel. 6. Cosalit und Rezbanyit. Neues Jahrb. Min. usw.
- Frondel C., Newhouse W. H., Jarrell R. F. (1942). Spatial distribution of minor elements in single-crystals. Amer. Miner., Vol. 27, № 11.
- Genth F. A. (1868)*. Amer. Jour. Chem. Soc.
- Genth F. A. (1886). Contributions to mineralogy. Amer. Phil. Soc., Vol. 23, № 121.
- Genth F. A. (1891)*. Amer. Jour. Sc., Vol. 41.
- Goldschmidt V. M. (1911). Die Kontaktmetamorphose im Kristianigebiet. Videnskapskapskapets Skrifter, I Mat.—Nat. Kl., № 1, Kristiania.
- Graham A. R. (1951). Matildite, aramayoite, miargyrite. Amer. Miner., Vol. 36, № 5—6.
- Graham A. R., Thompson R. M., Berry L. G. (1953) Cannizzarite. Amer. Miner., Vol. 38.
- Grasselly J. (1948). Analyses of some bismuth minerals. Acta mineralogica, petrographica, t. 2, Szeged.
- Guillemain C. (1900). Beiträge zur Kenntniss der natürlichen Sulfosalze. Zts. Kryst., Bd. 33.
- Harcourt G. A. (1942). Tables for the identification of ore minerals by X-ray powder patterns. Amer. Miner., Vol. 27.
- Hauer K. R. v. (1863). Arbeiten, ausgeführt im chemischen Laboratorium der k. k. geologischen Reichsanstalt. Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, Bd. 13, Wien.
- Heier K. (1953). Clausthalite and selenium-bearing galena in Norway. Norsk. Geol. Tidsskr., t. 32.
- Hermann R. (1858). Untersuchungen einiger Wismutherze so wie über Oxy-sulphuret von Wismuth. Bull. Soc. Impér. Natur. Moscou, 1858.
- Hillebrand W. F. (1883—1884). On an interesting variety of löllingit and other minerals. Proceedings of the Colorado Scientific Society, Vol. 1.
- Hintze K., Chudoba K. (1955). Handbuch der Mineralogie, Neue Mineralien und neue Mineralnamen. Berlin.
- Hoehne K. (1934/1935). Quantitativ chemische und erzmikroskopische Bestimmung von Arsen, Antimon, Zinn und Wismut in vorwiegend schlesischen Bleiglanzen. Chem. Erde, Bd. 9, Hf. 2.
- Hoffmann G. Chr. (1896). Analyses chimiques relatives à la géologie du Canada faites au laboratoire de la commission. Papport annuel de la Commission de géologie du Canada, Vol. VI, Ottawa.
- Hoffmann G. Chr. (1896). Galène, avec soufre libre. Annual report. Geol. Surv. Canada, Vol. 7, R. 11.
- Hoffmann G. Chr. (1892—1893). Chemische Beiträge zur Geologie Canadas. Annual report Geol. Surv. Canada, Vol. 6, Part R. (Ref.: Zts. Kryst., Bd. 28, 1897).
- Hubert A. v. (1848)*. Berichte über die Mitteilungen von Freunden der Naturwissenschaft in Wien (Haiding. Ber. Freund. Naturw.), Bd. 3.
- Hugi E. (1931). Über ein schweizerisches Cosalit—Vorkommen. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, Frauenfeld, Bd. 11.
- Iitaka Y., Nowacki W. (1962). A redetermination of the crystal structure of galenobismuthite, $PbBi_2S_4$. Acta Crystallogr., Vol. 15, № 7.
- Johansson K. (1924₁). Bidrag till Gladhammergruvornas mineralogie. Ark. Kemi, Bd. 9, № 8.
- Johansson K. (1924₂). Ett par selenförande mineral från Falu gruva. Ark. Kemi, Bd. 9, № 9.
- Kato Akira (1959). Ikonolite, a new bismuth mineral from the Ikuno mine, Japan. Mineralogical Journal, Vol. 2, № 6.
- Keller H. F., Keller H. A. (1885). A new variety of kobellite. Journ. Amer. Chem. Soc., Vol. 7.
- Koenig G. A. (1881). On alaskaite, a new member from the series of bismuth sulphosalts. Amer. Phil. Soc., Pros., Vol. 19.
- Koenig G. A. (1912). New observations in chemistry and mineralogy. Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 2-ed ser., Vol. 15, Plate 36.
- Koenig G. A. (1885). Note on cosalite, alaskaite and beegerite. Amer. Phil. Soc., Proc., Vol. 22.
- Kostov I. (1958). Bonchevite, a new mineral. Miner. Mag., Vol. 31, № 241.
- Landmann Th. (1854). Untersuchung einiger Fahlerze und eines manganhaltigen Bleiglanzes. Journ. prakt. Chemie (Erdm. Journ.), Bd. 62, Hf. 2.

Le Neve Foster (1883—1884). Notes on a sulpho-bismuthite. Proceedings of the Colorado Scientific Society, Vol. 1 (Ref.: Zts. Kryst. Bd. 11, 1886).

Lerch J. U. (1843). Analyse zweier Bleiglanze aus Przibram. Ann. Chemie Pharm. (Justus Liebig's Annalen der Chemie), Bd. 45 (Bd. 62).

Leutwein F., Herrmann A. G. (1954). Kristallchemische und geochemische Untersuchungen über Vorkommen und Verteilung des Wismuts im Bleiglanz der kiesig blendigen Formation des Freiburger Gangreviers. Geologie, Hf. 8.

Lindström G. (1887). Notiz über das Vorkommen von Wismuthmineralien bei Gladhammer, Kalmar Län, Schweden. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 9 (Ref.: Zts. Kryst., Bd. 17, 1889).

Lindström G. (1906). Om den s. k. tellurvismuten från Ridrarhyttan. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 28.

Loczka J. (1926). Mineralanalysen. Neues Jahrb. Min. usw, Bd. 2.

Lovering T. S. (1935). Geology and ore deposits of the Montessuma Quadrangle, Colorado. U. S. Geol. Surv., Prof. Pap., 178.

Luedecke O. (1896). Die Minerale des Harzes. Berlin.

Lundström C. H. (1874—1875). Analyser a tvenne nya svenska mineraler. B. Ett nytt vismutsvafladt svavelbly från Nordmarken i Vermland. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 2.

Mallet J. W. (1878). On the chemical composition of Guanajuatite, or selenide of bismuth, from Guanajuato, Mexico. The American Journ. Sci., Vol. 15 (115), № 88.

Manasse E. (1912). Petrographische und mineralogische Untersuchungen über den Monte Arco (Insel Elba). Atti Soc. Toscana Sci. Nat. Mem., t 28 (Ref.: Zts. Kryst., Bd. 55, 1915).

Markham N. L. (1962). Plumbian ikonolite from Kingsgate, New South Wales. Amer. Miner., Vol. 47, Nos. 11—12.

Melville W. H. (1892). Bismuthinite from Sinaloa, Mexico, U. S. Geol. Surv., Bull. № 90.

Metzger E. (1853)*. Bg.—und hütt Zts., Bd. 12.

Miers H. A. (1899). XL. Mitteilungen aus dem mineralogischen Laboratorium der Universität Oxford. I. Mineralogische Notizen: Zinkblende, Bleiglanz, Eisenkies, Blei. Zts. Kryst., Bd. 31, Hf. 6.

Miers H. A. (1900). Mineralogical Notes: zinc blende, galena, pyrites. lead. Miner. Mag., Vol. 12.

Mino H., Saito K. (1958). Journ. Mining Metallurg. Inst. Japan. Vol. 74. № 844.

Mitteregger J., Brunlechner A. (1884)*. Mineral Kärntens.

Navarro F. (D. Lucas). (1895). Minerales de Espana existentes en el Museo de Historia natural. Anales Soc. Espan. Hist. Natur., ser. 2, t. 4 (24), Actas, 8 vo, Madrid (Ref.: Zts. Kryst., Bd. 28, 1897; Bd. 31, 1899).

Nissen A. E., Hoyt S. L. (1915). On the occurrences of silver in argentiferous galena ores. Econ. Geol., Vol. 15.

Nordström Th. (1874). Mineralanalytiska Bidrag. 2. Selenhaltigt mineral från Falun. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 2.

Nozato R., Igaki K. (1955). On the equilibrium diagram of the lead-selenium system (I, II). Bull. Naniwa Univ., A—3.

Nuffield E. W. (1953). Benjaminite. Amer. Miner., Vol. 38, № 5—6.

Nuffield E. W. (1954). Pavonite, a new mineral. Amer. Miner., Vol. 39. № 4.

Ödman O. H. (1941). Geology and ores of the Boliden deposits, Sweden. Sveriges Geol. Undersökning, Årsbok 35, № 1 (№ 438).

Oftedal I. (1943). Om betingelsene for oktaedrisk delbarhet hos vismutrik blyglans. Norsk Geologisk Tidsskrift, Bd. 22, H. 1.

Oftedal I. (1959). On the occurrence of tellurium in Norwegian galenas. Norsk Geologisk Tidsskrift, Bd. 39, H. 1.

Pearce (1883—1884). Meeting of november 3-rd, 1884. Proceedings of the Colorado Scientific Society, Vol. 1.

Padera K. (1956). Beitrag zur Revision der Mineralien aus der Gruppe von Wismutglanz und Aikinit. Chemie der Erde, Bd. 18.

Padera K., Bouska V. I., Pelikán J. (1955). Rezbanyit aus Dobsiná in der Ostslowakei, CSR. Chemie der Erde, Bd. 17, Hf. 4.

Parravano N. (1913). Il sistema bismuto-selenio. Gazz. chim. Ital., Vol. 43, I.

Parravano N., Caglioti V. (1930). Ricerche sul sistema bismuto-selenio. Gazz. chim. Ital., Vol. 60.

Peacock M. A. (1933). On bismuthinite. Zts. Kryst., Bd. 86, Hf. 3/4.

Peacock M. A. (1942). Studies of mineral sulpho-salts: IV — Aikinite. Univ. Toronto Stud., Geol. ser., № 47.

Peacock M. A., Berry L. G. (1940). Röntgenographic observations on ore minerals. Univ. Toronto Stud., Geol. ser., № 44.

- Pearce (1883—1884). Meeting of november 3-ed, 1884. Proceedings of the Colorado Scientific Society, Vol. 1.
- Ramdohr P. (1938). Über Schapbachit, Matildit und den Silber und Wismutgehalt maucher Bleiglanze. Sitzungsberichte der Preußische Akademie der Wissenschaften, Phys.-math. Kl., 3—4.
- Ramdohr P. (1948). Las esppecies mineralogicas Guanajuatita y Paraguanajuatita. Comité Directivo para la investigacion de los recursos minerales de Mexico, Boletín № 20, Mexico.
- Rammelsberg C. F. (1849). 4-es Supplement zu dem Handwörterbuch des chemischen Theils der Mineralogie, Berlin.
- Rammelsberg C. F. (1853). Über den Chiviatit, ein neues Mineral aus Peru. Ann. Phys. Chem. (Pogg. Ann.), Bd. 88.
- Rammelsberg C. F. (1875). Handbuch der Mineralchemie. Teil II, Berlin.
- Rammelsberg C. F. (1886). Handbuch der Mineralchemie. 2 Aufl., Leipzig.
- Reuss A. (1857). Mineralogische Notizen aus Böhmen. Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften in Wien., Math.—Nat. Kl., Bd. 25.
- Rimatori C. (1903). La Galena bismutifera di Rosas (Sulcis) e Blende di diverse località di Sardegna. Rendiconti delle sedute della Reale Accademia dei Lincei. Serie Quinta, Classe di scienze fis., mat. e nat., Vol. 12 (Ref.: Zts. Kryst., Bd. 41, 1906).
- Rose H. (1822) *. Gilbert's Annalen (Ann. Phys.), Bd. 72.
- Rossetti V. (1950). Minerali di piombo nelle granititi di Orridda. Resoconti della Associazione Mineraria Sarda, Iglesias, t. 55, № 5 (Ref.: Periodico di Miner., Anno XX, № 2—3, 1951).
- Saito K. (1961). Relations between chemical composition and physical properties of galena. Journ. Japan. Ass. Miner., Petrol, Econ. Geol., vol. 46, № 5.
- Sandberger F. (1864) *. Neues Jahrb. Min. usw.
- Scheerer Th. (1845). Beiträge zur Kenntniss norwegischer Mineralien. Pogg. Ann., Bd. 65.
- Schenck R., Hoffmann I., Knepper W., Vögler H. (1939). Gleichgewichtsstudien Sulphide I. Zts. Anorg. allg. Chemie, Bd. 240, Hf. 2.
- Schetelig I. (1918). Vismutblyglans fra Skjoldevik pr. Haugesund. Norsk Geologisk Tidsskrift, Bd. 4.
- Schilling O. (1861) *. Berg.— und hüttenmännisches. Zts., Bd. 20.
- Schrauf A. (1871). Bericht über die Chondroditkrystalle von Nyakopper berget in Schweden. Anzeiger der k. Akademie der Wissenschaften in Wien, Math.—Nat. Kl., Bd. 8, № 19.
- Shannon E. V. (1920). Bismutoplagionite, a new mineral. Amer. Journ. Sci., Vol. 49.
- Shannon E. V. (1920). Boulangerite, bismutoplagionite, naumanite and silver-bearing variety of jamsonite. Proc. U. S. Nat. Mus., Vol. 58, № 2351.
- Shannon E. V. (1924) *. Proc. U. S. Nat. Mus., Vol. 65, № 24
- Shannon E. V. (1921) *. Acad. Sci. Journ., Vol. 11.
- Simpson E. S. (1923—1924). Goongarrite, a new mineral from Comet Vale, Western Australia. Journ. and Proc. Roy. Soc. Western Australia. Vol. 10, № 10.
- Sjögren H. J. (1878—1879). On några vismutmineralier från Nordmarks grufvor i Vermland. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 4.
- Sjögren H. J. (1884—1885). En blyglans med oktaedrisk genomgångar från Nordmarks gruffält i Vermland. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 7.
- Thiel J. (1894). Beiträge zur Kenntniss der nützlichen Mineralien des bairischen Waldes mit specielle Berücksichtigung des Silberberges bei Bodenmais. Zts. Kryst., Bd. 23, Hf. 3.
- Thompson R. M. (1950). The probable non-existence of alaskaite. Amer. Miner. Vol. 35, № 5—6.
- Tischendorf G. (1955). Paragenetische und tektonische Untersuchungen auf Gängen der fluorbarytischen Bleiformation Freibergs, insbesondere am Halsbrückener Spat. Freiburger Forschungshefte, S 18. Berlin.
- Todd E. W. (1921). Notes on the analysis of lead-bismuth minerals. Univ. Toronto Stud., Geol. ser., № 12.
- Tokody L., Varinecz G. (1935). A Vasköi ankerit es cosalit. Földtani Köz-löny (Magyarhona Földtani Torsulat).
- Uytenbogaardt W. (1949). Names of ore minerals, disqualified by rentgenographic and microscopic research. Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar, Bd. 71.
- Vaasjoki O. (1956). A composition of the minor base metal contents of some Finnish galenas. Bull. Comm. Géol. Finl., t. 29 № 172.
- Vaasjoki O., Kaitaro S. (1951). «Lillianite» from Ilijärvi, Orijärvi region. Bull. Comm. Géol. Finl., t. 24, № 154.

- Van Hook H. J. (1960). The ternary system $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Bi}_2\text{S}_3 - \text{PbS}$. *Econ. Geol.*, Vol. 55, № 4.
- Vorma Atso. (1959). Laitakriitti. Uusi Bi—Se—mineraali Orijärveltä. *Geologi*, № 2.
- Vorma Atso. (1960). Laitakarite a new Bi—Se—mineral. *Bull. Comm. Géol. Finl.*, t. 33, № 188.
- Wahlstrom E. E. (1937). Octahedral parting on galena from Boulder County, Colorado. *Amer. Miner.*, Vol. 22, № 8.
- Walker T. L. (1921). Cosalite from Ontario. *Univ. Toronto Stud., Geol. ser.*, Vol. 12.
- Walker T. L., Thomson E. (1921). An examination of lillianite and galenobismutite. *Univ. Toronto Stud., Geol. ser.*, № 12.
- Warren H. V. (1939). An occurrence of cosalite in British Columbia. *Univ. Toronto Stud., Geol. ser.*, № 42.
- Warren H. V., Davis Ph. (1940). Some bismuth minerals from British Columbia. *Univ. Toronto Stud., Geol. ser.*, № 44.
- Warrington. (1845)*. *Phil. Mag.*, Vol. 9.
- Wasserstein B. (1951). Precision lattice measurements of galena. *Amer. Miner.*, Vol. 36, № 12.
- Weibull M. (1885). Om selenhaltig galenobismutit från Falu grufva. *Geologiska Föreningens i Stockholm, Forhandlingar*, Bd. 7.
- Wehrle. (1832)*. *Baumgartner's Zts. (Zts. Phys. Mat.)*, Bd. 10.
- Wernick J. H. (1960). Constitution of the $\text{AgSbS}_2 - \text{PbS}$, $\text{AgBiS}_2 - \text{PbS}$ and $\text{AgSbS}_2 - \text{AgBiS}_2$ systems. *Amer. Miner.*, Vol. 45, № 5—6.
- Wickman F. E. (1948). Notiser from the notes of the late K. Johansson. III. Galenobismuthite and Weibullite. *Geologiska Föreningens i Stockholm, Förhandlingar*, Bd. 70.
- Wickman F. E. (1952). The crystal structure of galenobismutite, PbBi_2S_4 . *Ark. Miner. Geol.*, Bd. 1 (3—4).
- Wickmann F. E. (1954). The crystal structure of aikinite, CuPbBiS_3 . *Ark. Miner. Geol.*, Bd. 1 (16).
- Wijkerslooth P. (1955). The morphological and optical properties of new Pb—Bi—sulfosalt «Bursaite». *Ref.: Bull. Soc. Fr. Minér.*, t. 79, 1956.
- Wolfe C. W. (1938). Cannizzarite and bismuthinite from Vulcano. *Amer. Miner.*, Vol. 23, № 11.
- Yamamoto S. (1956). Solid solutions of lead-sulphide-selenide and telluride. The science reports of the Tôhoku University, Vol. 40, № 1.
- Zepharovich V. R. (1873). *Mineralogisches Lexikon für das Kaiserthum Österreich*. Bd. 2, Wien.
- Zepharovich V. R. (1887). Galenit von Habach in Salzburg *Zts. Kryst.*, Bd. 1.

Результаты пересчета химических анализов висмутина

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-ч.	FeAsS	ZnS	FeS _n (Fe,Ni)S ₃	CuFeS ₃	FeS	Cu ₂ S	PbS	(As, Sb) ₂ S ₃	Bi:S; (Bi, Sb):S; Bi ₂ S _x	Избыток Bi или S, вес. %	Замечания
[1]	Bi Pb Ni Cu Fe Zn S С у м м а	82,28 0,05 0,07 0,35 0,13 0,10 17,35 100,33	3937 2 12 55 23 15 5411 15			12 23 70			55 28	2 2		Bi : S = 1 : 1,345 Bi ₂ S _{2,69}	8,48 (Bi)	Окна де Фер, анал. С. Кох (Koch, 1948).
[2]	Bi S С у м м а Плотность	81,68 18,32 100,00 5,73	3908 5713									Bi : S = 1 : 1,462 Bi ₂ S _{2,92}	2,07 (Bi)	Оравица, рудник Елизабет, анал. Мадершпах (Zepharovich, 1873). В первоисточнике пересчитано на 100 после ис- ключения 0,61% Cu в виде Cu ₂ S, 0,85% Fe в виде FeS ₂ , 0,32% Au и 3,42% горной породы
3	Bi S Te Se С у м м а	81,03 18,65 0,32 Сл. 100,00	3877 5816 25									Bi : (S, Te) = = 1 : 1,506 Bi ₂ (S, Te) _{3,01}	0,08 (S)	Риддартгюттан, анал. Ф. Гент (Rammelsberg, 1875).
4	Bi S С у м м а	80,98 18,72 99,70	3875 5838									Bi : S = 1 : 1,506 Bi ₂ S _{3,01}	0,08 (S)	Риддартгюттан, анал. Г. Розе (Rose, 1822)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	FeAsS	ZnS	FeS _n (Fe,Ni)S ₂	CuFeS ₂	FeS	Cu ₂ S	PbS	(As, Sb) ₂ S ₃	Bi:S; (Bi, Sb):S; Bi ₂ S ₃	Избыток Bi или S, вес. %	Замечания
[10]	Bi S Te С у м м а Плотность	80,08 15,29 6,03 101,40 7,371	3832 4768 472									Bi : S; (Bi, Sb): S; Bi ₂ S ₃ Bi : (S, Te) = = 1 : 1,367 Bi ₂ (S, Te) _{2,73}	7,08 (Bi)	Гьеллебек, Норвегия, анал. Т. Шеерер (Scheerer, 1845)
11	Bi Pb Cu Fe S С у м м а	80,04 0,69 0,57 0,40 18,46 100,16	3830 33 90 72 5757				72 72 144		18 9	33 33		Bi : S = 1 : 1,454 Bi ₂ S _{2,91}	2,42 (Bi)	Васке, анал. С. Кох (Koch, 1930) считает, что Pb находится в виде примеси сульфосолей (козалит, рецбаннит), отмечает также присутствие халькоширита (в пересчетах анализов)
12	Bi Pb S SiO ₂ С у м м а	79,99 0,32 18,20 1,71 100,22	3827 15 5676							15 15		Bi : S = 1 : 1,479 Bi ₂ S _{2,96}	1,11 (Bi)	Рудник им. Кирова, Читинская обл. (Скрипин, 1941)
[13]	Bi Cu Fe S С у м м а Плотность	79,77 0,14 0,15 19,12 99,18 6,403	3817 22 27 5963				22 27 44					Bi : S = 1 : 1,551 Bi ₂ S _{3,10}	0,62 (S)	Гьеллебек, анал. Г. Шеерер (Goldschmidt, 1911); по Гольдшмидту купровисмутин

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	Fe ASS	Zn S	FeS ₂ (Fe, Ni)S ₂	Cu FeS ₂	FeS	Cu ₂ S	PbS	(As, Sb) ₂ S ₅	Bi: S; (Bi, Sb) : S; Bi ₂ S _x	Избыток Bi или S, вес. %	Замечания
[18]	Bi Pb Cu Fe Co S As Sb Пер. ост. Сумма Плотность	78,40 0,75 0,40 0,53 — 14,25 3,10 0,85 0,90 99,18 6,60	3751 36 63 95 — 4444 414 70	95 95					63 31	36 36	583 319 70	Bi : S = 1 : 0,986 Bi ₂ S _{1,97}	26,86 (Bi)	Меймак, Франция, анал. А. Карно (Carnot, 1874). Крупнолучистый агрегат, подобный антимониту
[19]	Bi Cu Fe S Сумма Плотность	78,00 2,42 1,04 18,42 99,88 6,405	3732 381 186 5744				186 186 372		195 98			Bi : S = 1 : 1,413 Bi ₂ S _{2,83}	4,51 (Bi)	Корнуолл, анал. К. Ф., Раммельсберг (Rammelsberg, 1875), покрыт теллурвисмутитом.
[20]	Bi Fe S Sb Сумма	77,42 1,33 18,90 1,15 98,80	3704 238 5894 94					238 238			141 94	Bi : S = 1 : 1,489 Bi ₂ S _{2,98}	0,56 (Bi)	Хоролку, Боливия, анал. И. Домейко (Domeyko, 1879) Тонкопластинчатая разновидность от оловяно- до сурьмяно-белой окраски
21	Bi Cu Fe S Сумма	76,97 1,55 1,48 19,73 99,73	3683 244 265 6153			21 42	244 244 488	(21) (21)				Bi : S = 1 : 1,532 Bi ₂ S _{3,06} при FeS Bi : S = 1 : 1,527 Bi ₂ S _{3,05} при FeS ₂	0,38 (S) 0,31 (S)	Окна де Фер, анал. В. Пакоз-дн (Koch, 1948)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	FeAsS	ZnS	FeS ₂ , (Fe, Ni)S ₂	Cu FeS ₂	FeS	Cu ₂ S	PbS	(As, Sb) ₂ S ₃	Bi:S; (Bi, Sb):S; Bi ₂ S _x	Избыток Bi или Sb, вес. %	Замечания
[26]	Bi Pb Cu Fe S As Sb Нер. ост. С у м м а	75,26 3,37 — 0,28 18,04 — 2,39 0,70 100,04	3601 163 — 50 5626 — 196 — —			50 100	Или	50 50		163 163		Bi : S = 1 : 1,407 Bi ₂ S _{2,81} при FeS Bi : S = 1 : 1,422 Bi ₂ S _{2,84} при FeS ₂	4,64 (Bi) 3,93 (Bi)	Устарасайское месторождение, анал. В. М. Сендерова (Сахарова, 1955)
[27]	Bi Fe S Sb С у м м а	75,22 5,83 17,56 1,39 100,00	3599 1044 5476 114 —					1044 1044				Bi : S = 1 : 1,184 Bi ₂ S _{2,37}	15,84 (Bi)	То же, что и ан. 20
28	Bi Pb Cu S Se Te Sb Нер. ост. С у м м а	72,90 5,02 3,18 17,82 0,06 0,13 Сл. 1,01 100,12	3488 242 500 5557 7 10 — — —						500 250	242 242		Bi : S = 1 : 1,457 Bi ₂ S _{2,91}	2,09 (Bi)	Сев. Коунрад, анал. В. М. Сендерова (Чухров и др., 1961); Fe, Ca, Mg, Mn не обнаружены; в ассоциации редкопирит и халькопирит

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	FeAsS	ZnS	FeS ₂ (Fe, Ni)S ₂	Cu FeS ₂	FeS	Cu ₂ S	PbS	(As, Sb) ₂ S ₃	Bi:S; (Bi, Sb):S; Bi ₂ S _x	Избыток Bi или Sb, вес. %	Замечания
[34]	Bi Cu Fe S Te Нер. ост. С у м м а	69,81 7,98 1,90 19,42 0,31 0,50 99,92	3340 1256 340 6056 24				340 340 680		916 458			Bi(S, Te) = = 1 : 1,48● Bi ₂ (S, Te) _{2,96}	0,94 (Bi)	Рецбанья, анал. Грассели (Grassely, 1948); неоднородный с примесью значительных количеств эмлектита, самородного висмута и теллурида висмута
[35]	Bi Pb Cu Ag S Se Sb С у м м а	67,25 9,56 5,36 0,11 17,63 Сл. 0,10 100,01	3218 461 844 10 5498 — 8						854 427	461 461		Bi : S = 1 : 1,428 Bi ₂ S _{2,86}	3,24 (Bi)	Северо-Коунрадское месторождение, анал. В. М. Сендерова (Чухров и др., 1961); Fe, Ca и Mg не обнаружены; в ассоциации редко пирит и халькопирит
[36]	Bi Pb Cu S С у м м а	67,05 3,29 1,29 13,13 84,76	3208 159 203 4095						203 102	159 159		Bi : S = 1 : 1,195 Bi ₂ S _{2,39}	13,6 (Bi)	Карабутакское месторождение, лаборатория Уральского геологического управления (Рухавишиников, 1941); стально-серые удлиненные призмы; недостаток S по отношению к Bi объясняет присутствием карбоната висмута

Результаты пересчета химических анализов минералов ряда $\text{Bi}_2\text{S}_3\text{—Bi}_2\text{Se}_3$ (анализы расположены в направлении увеличения молекулярного количества Bi_2Se_3)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во.	Bi:(S, Se); S:Se	Мол. %		Избыток Bi или S, Se в %	Замечания
					Bi_2S_3	Bi_2Se_3		
[42]	Bi Pb Fe Cu Zn S Se Te As Sb Нер. ост. С у м м а	71,08 1,75 3,08 1,26 0,05 17,55 4,47 0,003 0,05 Не найдено 0,65 99,94	3401 84 551 198 8 5473 566 — 7	1 : 1,427 $\text{Bi}_2(\text{S, Se})_{2,85}$ S : Se=7,6 : 1	88,4	11,6	3,49 (Bi)	Северо-Восток СССР, anal. Ф. А. Ферьянчик. Пластинчатый в ассоциации с лайтакарнитом, шпритом, халькопиритом, арсенипиритом, козалитом (Годовиков, Ферьянчик, 1964). При пересчете примеси связываются в сфалерит, шприт, халькопирит, арсенипирит, галенит
43	Bi S Se С у м м а Плотность	77,54 14,05 8,80 100,39 6,306	3710 4381 1114	1 : 1 : 481 $\text{Bi}_2(\text{S, Se})_{2,96}$ SiSe=3,933 : 1	79,7	20,3	0,98 (Bi)	Анал. Ф. Гент (Genth, 1891). Содержания висмута и серы взяты как средние из двух определений (Bi—76,94 и 78,14%; S—14,15 и 13,96%). Мелкие светло-серые кристаллы в более темной массе
[44]	Bi Fe } Zn } S Se С у м м а	65,4 2,8 [15,1] 16,7 100,00	3129 501 4708 2115	1 : 1,500 $\text{Bi}_2(\text{S, Se})_3$ S : Se=2,22 : 1	54,9	45,1	3,6** (S)	Анал. К. Ф. Раммельсберг (Castillo, 1874). Се-ра определена как дополнение до 100%
[45]	Bi S Se С у м м а Плотность	71,78 6,62 22,02 100,42 6,845	3434 2064 2789	1 : 1,413 $\text{Bi}_2(\text{S, Se})_{2,83}$ S : Se=0,740 : 1	46,6	53,5	4,16 (Bi)	Анал. К. Ф. Раммельсберг (Rammelsberg, 1886)

[46]	Bi S Se С у м м а Плотность	67,38 6,60 24,13 98,11 6,25	3224 2058 3056	1 : 1,586 Bi ₂ (S, Se) _{3,17} S : Se=0,673 : 1	40,2	59,8	0,89** (S)	Анал. Л. Френцель (Frenzel, 1874)
[47]	Bi S Se С у м м а	68,86 4,68 25,50 99,04	3295 1459 3230	1 : 1,423 Bi ₂ (S, Se) _{2,85} S : Se=0,451 : 1	31,1	68,9	3,52 (Bi)	Анал. Ф. Гент (Genth, 1891)
[48]	Bi Se S С у м м а	65,23 31,08 2,97 99,28	3121 3936 926	1 : 1,558 Bi ₂ (S, Se) _{3,12} S : Se=1 : 4,250	19,1	80,9	0,58** (S)	Анал. И. Б. Дьячкова (Дьячкова, 1961)
49	Bi S Se С у м м а	65,01 0,66 34,33 100,00	3110 206 4348	1 : 1,464 Bi ₂ (S, Se) _{2,93} S : Se=0,047 : 1	4,5	95,5	1,55 (Bi)	Анал. Малле (Mallet, 1878). Пересчитан Малле на 100% после исключения 6,72% галлуазита и 0,56% кварца
50	Bi S Se Нер. ост. С у м м а Плотность	61,00 0,12 35,18 3,70 100,00 6,62	2919 37 4455	1 : 1,539 Bi ₂ (S, Se) _{3,08}	0,4	99,6		Анал. В. Фернандес (Fernandes, 1873). Цифра, относящаяся к сере, согласно примечанию Фернандеса, включает железо и немного п.п.п.

* Анализы 43—50 выполнены для минералов из Гуанахуато, Мексика.

** Условно выражены в весовых процентах серы.

Результаты пересчета химических анализов икунолита и лайтакаринита (анализы расположены в порядке уменьшения в них содержания висмута)

Г. № анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во:	ZnS или FeAsS	Fe(S,Se)	FeS ₂	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Pb(S, Se)	Bi:(S,Se, Te)	Остаток Bi в вес. % после исключения Bi ₂ (S,Se) ₃	Замечания
<i>Икунолит</i>												
51	Bi	87,27	4176							1:0,667 Bi ₁ S _{2,66}	48,15	Констанция, Таспа, анал. И. Домейко (Domeyko, 1879). Плотнопластинчатая разновидность темно-железного цвета; назван висмутинум
	Cu	0,70	110				72	38				
	Fe	0,40	72				72					
	S	10,30	3212				144	19	262			
	As	1,31	175						175			
	С у м м а	99,98							(As ₂ S ₃)			
[52]	Bi	84,66	4051							1:0,737 Bi ₄ S _{2,95}	43,05	Тот же материал, что и в предыдущем случае
	Cu	0,98	151				89	65				
	Fe	0,50	89				89					
	S	11,03	3440				178	32	244			
	As	1,22	163						163			
	С у м м а	98,39							(As ₂ S ₃)			
[53]	Bi	79,69	3813							1:0,793 Bi ₄ (S, Se) _{3,17}	37,58	Икуно, Япония, анал. Т. Катсура (Kato, 1959). Находится в ассоциации с висмутином, самородным висмутом, ферберитом, касситеритом, кварцем. Пластинчатые массы. Определение рентгенохимическое из малой навески
	S	8,89	2772									
	Se	1,98	251									
	Остаток	[9,44]										
	С у м м а	100,00										
<i>Лайтакаринит</i>												
54	Bi	82,58	3951							1:0,651 Bi ₄ (SeS) _{2,60}	46,75	Колыма, анал. С. Н. Федорчук (Салтыкова, 1959). Описание материала нет. Указано лишь, что «...содержит примеси самородного висмута». Однако это заключение может ошибочно опираться на результаты анализа
	Fe	0,07	12									
	S	2,61	814						12			
	Se	12,93	1638						21			
	Te	1,84	144									
	С у м м а	100,03										

55	Bi Pb Ag Cu Zn S Se Нер. ост. С у м м а	78,28 0,78 0,71 0,26 0,14 3,28 15,50 0,93 99,88	3745 38 66 41 21 1023 1963	21		41	66	38	1:0,751 Bi ₁ (S, Se) _{3,00}	43,26	Ориярви, Юго-Западная Финляндия, анал. П. Ваананен (Vogma, 1960). Компоненты при пересчете взяты те же, что у Ворма, кроме Ag ₂ S; у Ворма Ag не связан в сульфид
56	Bi Pb Cu Fe S Se Te As С у м м а	77,0 0,26 0,74 1,7 3,9 16,0 0,3 0,03 99,93	3684 12 116 304 1216 2026 23 4	4 4 -1		181	116 116	12 12	1:0,719 Bi ₁ (Se, S) _{2,86}	40,07	Северо-Восток СССР, анал. Ф. А. Ферьянич (Годовиков, Ферьянич, 1960). Находится в ассоциации со станином, халькопиритом, пиритом, висмутным, козалином
[57]	Bi Se Te С у м м а	75,7 13,65 0,43 89,78	3622 1729 34								Верхне-Сеймчанское месторождение, анал. А. А. Попова (Демни, Попова, 1949). Минерал ошибочно назван гуанахуатитом
58	Bi Pb Cu Fe S Se Te As Sb Нер. ост. С у м м а Плотность	69,7 0,2 1,2 5,43 3,28 15,4 1,2 <0,01 <0,01 3,50 99,91 7,48 (ср. из 2х)	3335 10 189 972 1023 1950 94		972 972		189	10 10	1:0,540 Bi ₁ (Se, S) _{2,16}	43,24	Северо-Восток СССР, анал. Ф. А. Ферьянич (Годовиков, Ферьянич, 1960). Находится в ассоциации со станином, халькопиритом, пиритом, галенитом, висмутным, козалином

Результаты пересчета химических анализов речбаннита

№ анализа	Компоненты	Вес, %	Атомн. коллич.	Zn S	CuFeS ₂	Cu ₂ S	Ag ₂ S	PbS	Bi:S	Избыток Bi, вес %	Pb:(Bi, Sb) и формула	(Pb, Cu, Ag ₂):(Bi, Sb) и формула	Замечания				
[68]	Bi	62,97	3013						1:1,386	4,7	1:4,497 Pb ₄ Bi _{17,988} S _{28,932} 4PbS · 9Bi ₂ S ₃	1:2,813 (Pb, Cu ₂ Ag ₂) ₅ Bi _{14,065} · · S _{24,495} 5(Pb, Cu ₂ Ag ₂)S · · 7Bi ₂ S ₃	Речбанья, анал. Френцель (Frenzel, 1883). Пересчитано на 100% после исключения 4,08% CaCO ₃ , определенного по разности, и 6,44% халькопирита. У Френцеля и Дельтера пересчет неверен				
	Pb	13,89	670				670	Bi ₂ S _{2,77}									
	Cu	3,65	574			574											
	Ag	2,46	228			228											
	Zn	0,13	20	20													
	S	16,89	5267	20		287	114	670									
	С у м м а	99,99															
[69]	Bi	62,64	2997						1:1,354	6,10	1:4,111 PbBi _{4,111} S _{6,566} PbS · 2Bi ₂ S ₃	1:2,720 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₃ Bi _{8,160} · · S _{14,046} 3(Pb, Cu ₂ Ag ₂)S · · 4Bi ₂ S ₃	Речбанья, анал. Френцель (Frenzel, 1883). После исключения примеси халькопирита и кальцита (по разности). Пересчет у Френцеля и Дельтера неверен				
	Pb	15,11	729				729	Bi ₂ S _{2,71}									
	Cu	3,62	570			570											
	Ag	1,89	175			175											
	Zn	0,13	20	20													
	S	16,61	5180	20		285	175	729									
	С у м м а	100,00															
[70]	Bi	60,82	2910						1:1,492	0,31	1:3,411 Pb ₃ Bi _{10,233} S _{18,270} 3PbS · 5Bi ₂ S ₃	1:2,559 (Pb, Cu ₂) ₄ Bi _{10,236} · · S _{19,276} 4(Pb, Cu ₂)S · · 5Bi ₂ S ₃	Гладхаммер, Швеция, анал. Юханссон (Johansson, 1924)				
	Pb	17,67	853				853	Bi ₂ S _{2,98}									
	Cu	3,68	579		11	568											
	Fe	0,06	11		11												
	S	17,64	5501		22	284		853									
	Остаток	0,13															
	С у м м а	100,00															
71	Bi	59,28	2836						1:1,491	0,35	1:3,197 Pb ₂ Bi _{6,394} S _{11,536} 2PbS · 3Bi ₂ S ₃	1:2,416 (Pb, Cu ₂) ₄ Bi _{9,664} · · S _{18,408} 4(Pb, Cu ₂)S · · 5Bi ₂ S ₃	Паулусгрубе, Вискё, анал. Кох (Koch, 1930). Fe связывает в халькопирит				
	Pb	18,38	887				887	Bi ₂ S _{2,98}									
	Cu	4,17	656		82	574											
	Fe	0,16	82		82												
	S	17,85	5567		164	287		887									
	С у м м а	100,14															
	Плотность	6,89															

72	Bi Pb Cu Fe S SiO ₂ С у м м а	59,22 18,10 4,09 0,42 17,86 0,12 99,81	2833 874 644 75 5570						874 Bi ₂ S _{3,01} 874		1 : 3,241 Pb ₃ Bi _{9,723} S _{17,628} 3PbS · 5Bi ₂ S ₃	1 : 2,446 (Pb, Cu ₂) ₄ Bi _{9,784} · · S _{18,720} 4(Pb, Cu ₂)S · 5Bi ₂ S ₃	То же, что ан. 71
73	Bi Pb Cu Ag Zn S С у м м а	58,90 19,74 1,68 1,88 17,79 99,99	2818 953 264 174 5548		264	174		953 Bi ₂ S _{3,11} (после исключе- ния Sb ₂ S ₃)	953	1 : 2,957 Pb ₂ Bi _{5,914} S _{11,184} 2PbS · 3Bi ₂ S ₃	1 : 2,404 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₅ Bi _{12,020} · · S _{23,670} 5(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · · 6Bi ₂ S ₃	Рецбанья, анал. Френ- цель (Frenzel, 1883). Пе- ресчитан на 100% после исключения 5% кальцита и 4,44% халькопирита	
[74]	Bi Pb Cu Fe S As Sb Нер. ост. С у м м а	55,50 22,80 — 0,50 16,30 — 4,56 0,55 100,21	2655 1100 — 89 5083 — 374	FeS ₂ 89 178				1100 Bi ₂ S _{2,44} (после исключе- ния Sb ₂ S ₃)	10,28 1100	1 : 2,754 Pb ₃ (Bi, Sb) _{8,262} S _{13,377} 3PbS · 4(Bi, Sb) ₂ S ₃		Устарасай, анал. В. М. Сендерова (Саха- рова, 1955). Избыток вис- мута связывает с вклю- чениями самородного висмута	
75	Bi Pb Cu Fe S С у м м а	51,8 20,6 7,6 1,5 18,0 99,5	2478 994 1196 268 5613		268	928		994 Bi ₂ S _{2,92} 994	1,36 994	1 : 2,493 Pb ₄ Bi _{9,972} S _{18,564} 4PbS · 5Bi ₂ S ₃	1 : 1,700 (Pb, Cu ₂) ₆ Bi _{10,200} · · S _{20,892} 6(Pb, Cu ₂)S · 5Bi ₂ S ₃	Добшина, ЧССР, анал. Пеликан (Padera, Bouska, Pelikan, 1955). В ассоци- ации с халькопиритом, тетраэдритом, арсенипи- ритом	

Результаты пересчета химических анализов галенобисмутита (и бисмутаплагинита)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	АТОМН. КОЛИЧ.				(Cu, Ag)S	PbS	Sb ₂ S ₃	Bi:S или Bi:(S, Se)	Изб. S или Bi в вес. %	Pb:Bi, Pb:(Bi, Sb) и формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂):Bi (Pb, Cu ₂ , Ag ₂):(Bi, Sb) и формула	Замечания	
				ZnS	FeS ₂	CuFeS ₂									
76	Bi	56,97	2726											Аляскант, Аляска, Колорадо, анал. Г. Кениг (Koenig, 1881). Среднее из двух анализов. Пересчитано на 100% после вычитания 2,28% халькопирита и 15,0% барита	
	Pb	11,79	569				569		1:1,488	0,48	1:4,791	1:2,188	$(Pb, Cu_2, Ag_2)Bi_{2,188} \cdot S_{4,254}$ $(Pb, Cu_2, Ag_2)Bi_2S_4 = (Pb, Cu_2, Ag_2)S \cdot Bi_2S_3$		
	Cu	3,46	544			544			Bi ₂ S _{2,98}	(Bi)	Pb ₅ Bi _{23,955} S _{40,630}				
	Ag	8,74	810			810					$Pb_5Bi_{24}S_{41} = 5PbS \cdot 12Bi_2S_3$				
	Zn	0,79	121	121											
	S	17,63	5498	121			677	569	76						
	Sb	0,62	51						51						
С у м м а	100,00														
[77]	Bi	56,11	2685										Аляскант, Серре Бонет, Боливия, анал. Герценберг (Ahlfeld, 1926). Пересчитано на 100% после вычитания халькопирита и висмутита. Первоначальная сумма составляла 98,45%		
	Pb	14,41	695				695		1:1,565	0,56	1:3,863	1:2,025		$(Pb, Cu_2, Ag_2)Bi_{2,025} S_{4,170}$ $(Pb, Cu_2, Ag_2)Bi_2S_4 = (Pb, Cu_2, Ag_2)S \cdot Bi_2S_3$	
	Cu	2,68	422			422			Bi ₂ S _{3,13}	(S)	PbBi _{3,863} S _{7,047}				
	Ag	9,07	841			841					PbBi ₄ S ₇ =				
	S	17,73	5529			631	695				= PbS · 2Bi ₂ S ₃				
	С у м м а	100,00													
	Плотность	6,23(?)													
78	Bi	55,81	2670										Аляскант, Аляска, Колорадо, анал. Г. Кениг (Koenig, 1885). Среднее из трех анализов; пересчитано после вычитания 4,71% халькопирита и 2,83% барита		
	Pb	19,02	918				918		1:1,525	0,21	1:2,908	1:1,922		$(Pb, Cu_2, Ag_2)Bi_{1,922} \cdot S_{3,932}$ $(Pb, Cu_2, Ag_2)Bi_2S_4 = (Pb, Cu_2, Ag_2)S \cdot Bi_2S_3$	
	Cu	4,07	640			640			Bi ₂ S _{3,05}	(S)	PbBi _{2,908} S _{5,436}				
	Ag	3,26	302			302					Pb ₂ Bi ₆ S ₁₁ =				
	Zn	0,22	34	34		471	918				= 2PbS · 3Bi ₂ S ₃				
	S	17,62	5495	34											
	С у м м а	100,00													
Плотность	6,878														
79	Bi	55,35	2648										Нурдмаркен, Швеция, анал. К. Юханссон (Wickman, 1948)		
	Pb	27,41	1323				1323		1:1,496		1:2,002				
	S	16,99	5298				1323		Bi ₂ S _{2,99}		PbBi _{2,002} S _{4,004}				
	С у м м а	99,75									PbBi ₂ S ₄ = PbS · Bi ₂ S ₃				

[80]	Bi Pb Cu Ag S С у м м а	55,3 15,4 1,6 11,7 16,0 100,0	2646 743 252 1084 4990				252 1084 668	743 743	1:1,353 Bi ₂ S _{2,71}	5,43 (Bi)	1:3,561 Pb ₉ Bi _{32,049} S _{52,353} Pb ₉ Bi ₃₂ S ₅₇ = =9PbS · 16Bi ₂ S ₃	1:1,875 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂)Bi _{1,875} S _{3,536} (Pb, Cu ₂ , Ag ₂)Bi ₂ S ₄ = =(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · · Bi ₂ S ₃	Аляскиит, Сильвертон; Колорадо, анал. Файр- чайлд (Шорт, 1934). Пе- ресчитано после вычита- ния 7,3% нерастворимого остатка и 5,4% Fe как FeS ₂
[81]	Bi Pb S С у м м а Плотность	54,90 27,47 16,98 99,35 7,04— 7,12	2627 1326 5295					1326 1326	1:1,511 Bi ₂ S _{3,02}		1:1,981 PbBi _{1,981} S _{3,993} PbBi ₂ S ₄ =PbS · · Bi ₂ S ₃		Гладхаммар, Швеция, анал. Юханссон (Johans- son, 1924г)
82	Bi Pb Fe S С у м м а Плотность	54,69 27,65 Сл. 17,35 99,69 6,88	2617 1334 — 5411					1334 1334	1:1,558 Bi ₂ S _{3,12}	0,48 (S)	1:1,962 PbBi _{1,962} S _{4,056} PbBi ₂ S ₄ =PbS · · Bi ₂ S ₃		Нурдмаркен, Швеция, анал. Шёгрэн (Sjögren, 1878—1879)
[83]	Bi Pb S С у м м а Плотность	54,13 27,18 16,78 98,09 6,88	2590 1312 5233					1312 1312	1:1,514 Bi ₂ S _{3,03}		1:1,974 PbBi _{1,974} S _{3,989} PbBi ₂ S ₄ =PbS · · Bi ₂ S ₃		То же
[84]	Bi Pb Cu Fe S Sb С у м м а	53,59 23,93 1,73 0,39 [17,80] 2,56 100,0	2564 1155 272 70 5551 210		70 70 140	202 101		1155 1155	1:1,498 Bi ₂ S _{3,00}		1:2,220 PbBi _{2,220} S _{4,597} PbBi ₂ S ₄ =PbS · · Bi ₂ S ₃	1:2,041 (Pb, Cu ₂)Bi _{2,041} S _{4,308} (Pb, Cu ₂)Bi ₂ S ₄ = =(Pb, Cu ₂)S · Bi ₂ S ₃ (Pb, Cu ₂): (Bi, Sb) = = 1:2,208	Кварцбург, Айдахо, анал. Шеннон (Shannon Washington, 1921)

№ анализа	Компоненты	Вес, %	АТОМН. КОЛ-В.	Zn S	Fe S ₂	Cu Fe S ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Pb S	Sb ₂ S ₃	Bi:S или Bi:(S, Se)	Изб. S или Bi в вес. %	Pb:Bi, Pb:(Bi, Sb) и формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂):Bi, (Pb, Cu ₂ , Ag ₂)::(Bi, Sb) и формула	Замечания
[85]	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S Sb Нер. ост. С у м м а Плотность	53,39 12,02 5,11 7,80 0,84 0,34 17,98 Не опр. 1,80 99,28 6,782	2555 580 804 723 150 52 5607 52 300	52 52	150 150	654 723	688	580 580		1:1,560 Bi ₂ S _{3,12}	0,50 (S)	1:4,405 Pb ₅ Bi _{22,025} S _{39,370} Pb ₅ Bi ₂₂ S ₃₈ = =5PbS · 11Bi ₂ S ₃	1:2,015 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂)Bi _{2,015} S _{4,144} (Pb, Cu ₂ , Ag ₂)Bi ₂ S ₄ = = (Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · · Bi ₂ S ₃	Аляскаит, Аляска, Колорадо, анал. Кснинг (Koenig, 1885)
[86]	Bi Pb Fe S С у м м а	51,0 30,5 1,5 16,4 99,4	2440 1472 268 5114		268 536			1472 1472		1:1,273 Bi ₂ S _{2,55} При FeS: 1:1,383 Bi ₂ S _{2,77}	7,96 (Bi) 3,99 (Bi)	1:1,658 Pb ₅ Bi _{8,290} S _{15,55} Pb ₅ Bi ₈ S ₁₇ = =5PbS · 4Bi ₂ S ₃		Карибу, Британская Колумбия, анал. Джонсон (Wagner, Davis, 1940). Содержит небольшие примеси козалинта и, возможно, пирита

[87]	Bi Pb Fe S Sb С у м м а Плотность	51,25 31,33 0,27 17,16 0,19 100,20 4,8	2452 1512 48 5351 16							1:1,517 $\text{Bi}_2\text{S}_{3,03}$		1:1,622 $\text{Pb}_5\text{Bi}_{8,110}\text{S}_{17,380}$ $\text{Pb}_5\text{Bi}_8\text{S}_{17} =$ $=5\text{PbS} \cdot 4\text{Bi}_2\text{S}_3$	«Канницарит», Вулкано, Липарские о-ва, анал. Ф. Гонье (Wolfe, 1938); Cu и As не найдены	
[88]	Bi_2S_3 Sb_2S_3 PbS С у м м а Плотность	57,60 4,26 38,14 100,00 5,35										1:1,562 $\text{Pb}_5(\text{Bi}, \text{Sb})_{7,810}\text{S}_{16,730}$ $\text{Pb}_5(\text{Bi}, \text{Sb})_8\text{S}_{17} =$ $=5\text{PbS} \cdot 4(\text{Bi}, \text{Sb})_2\text{S}_3$	Бисмутоплагионит, Нёе Монтана, анал. Шеннон (Shannon, 1920). Анализ пересчитан на компоненты после исключения 18,88% нер. ост. и 1,25% FeS_2 , As_2S_3 , CuS и Ag_2S — следы	
[89]	Bi Pb Cu Ag S С у м м а Плотность	50,78 25,18 4,69 3,51 15,84 100,0 6,34	2430 1215 738 325 4940			738		1215		1:1,314 $\text{Bi}_2\text{S}_{2,63}$	6,31 (Bi)	1:2,000 $\text{PbBi}_2\text{S}_{3,628}$ $\text{PbBi}_2\text{S}_4 =$ $=\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	1:1,391 $(\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2)_3\text{Bi}_{4,173}\text{S}_{8,484}$ $(\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2)_3\text{Bi}_4\text{S}_9$ $3(\text{Pb}, \text{Cu}_2, \text{Ag}_2)\text{S} \cdot$ $\cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$	Бенжаминит, Невада, анал. Шеннон (Shannon, 1924). Среднее из четырех анализов после вычитания молибденита и халькопирита
[90]	Анализ помещен в текст													

**Химические анализы загрязненного галенобисмутита
после исключения примесей и пересчета на 100%**

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	Избыток Bi в вес. %	Плотность	Исключенные примеси в вес. %
[84]	Bi Pb Cu S Sb	54,29 24,24 1,30 17,58 2,59	2598 1170 204 5482 213	2,38		CuFeS ₂ — 1,28
[85]	Bi Pb Ag Cu S	56,66 12,76 8,28 4,42 17,88	2711 616 768 696 5576		7,16	CuFeS ₂ — 2,75 Нер. ост. — 1,80 ZnS — 0,51
[86]	Bi Pb S	53,0 31,7 15,3	2536 1530 4771	7,84		FeS ₂ — 3,2

Результаты пересчета химических анализов вейбуллита (селенистого галенобисмутита) и платинита

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомы, колич.	FeS ₂ FeS	ZnS	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi ₂ S ₃	Bi:Se	Bi:(S, Se) (в остатке)	Избыток Bi в вес. %	Pb:Bi и формула	Замечания
<i>Вейбуллит</i>														
[91]	Bi	68,40	3273						1309	1:0,075	1:0,604 (FeS ₂) Bi _{4,96} Se ₃	37,06 (FeS) 40,84 (FeS ₂)	1:3,788 Pb Bi _{3,788} (S, Se) _{3,435} Pb(S, Se)·2Bi ₂ (S, Se) ₃	Анал. А. Аттерберг (Atterberg, 1874). Среднее из двух анализов
	Pb	17,90	864					864	1402					
	Fe	1,52	272	272										
	S	10,39	3240	544					1832					
				272					2104					
	Se	1,15	146						146		1:0,687 (FeS) Bi _{4,36} Se ₃		S:Se=12,5:1(FeS ₂) и 14,4:1(FeS)	
	Кварц	1,60												
	Сумма	100,96												
[92]	Bi	59,70	2856							1:1,234	1:1,380	4,76	1:4,200	Анал. Е. Тодд (Walker, Thomson, 1921). Считают смесь козалита (1/3), висмутина и гуанахуатита
	Pb	14,08	680					680		Bi ₂ Se _{2,47}	Bi ₂ (S, Se) _{2,76}		Pb Bi _{4,200} (S, Se) _{6,754}	
	Cu	1,38	217			158	59						Pb(S, Se)·2Bi ₂ (S, Se) ₃	
	Fe	0,88	158			158	30	680					S:Se=1,892:1	
	S	10,84	3380			316								
	Se	12,54	1588											
	Сумма	99,42												
	Плотность	6,940												
93	Bi	54,67	2616						2081	1:1,602	1:1,521		1:2,293	Анал. К. Юханссон (Wickmann, 1948)
	Pb	23,65	1141					1141		Bi ₂ Se _{3,2}	Bi ₂ (S, Se) _{3,04}		Pb ₇ Bi _{16,050} (S, Se) _{31,409}	
	Cu	0,46	72			38	34						Pb ₇ Bi ₁₆ (S, Se) ₃₁	
	Fe	0,21	38			38							7Pb(S, Se)·8Bi ₂ (S, Se) ₃	
	Zn	0,17	26		26								S:Se=4,954:1	
	S	14,05	4382		26	76	17	1141	3122					
	Se	6,77	857											
	Сумма	99,98												

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	$\frac{FeS_2}{FeS}$	ZnS	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi ₂ S ₃	Bi:Se	Bi:(S, Se)	Избыток Bi в вес. %	Pb:Bi и формула	Замечания
94	Bi Pb Fe S Se Нер. ост. Сумма Плотность	53,99 25,90 0,25 14,28 5,20 0,23 99,85 7,19	2583 1250 45 4453 658	45 90/45				1250 1250	2106 3158	(FeS ₂) 1:1,280 Bi ₂ Se _{2,56} (FeS) 1:1,379 Bi ₂ Se _{2,76}	(FeS ₂)— 1:1,460 Bi ₂ (S, Se) _{2,92} (FeS)— 1:1,477 Bi ₂ (S, Se) _{2,95}	(FeS)— - 0,84	(Fe,S ₂)—1:2,066 Pb Bi _{2,066} (S, Se) _{4,017} (FeS)—1:2,066 Pb Bi _{2,066} (S, Se) _{4,053} и Pb(S, Se)·Bi ₂ (S, Se) ₃ S:Se=6,630:1(FeS ₂) и S:Se=6,699:1(FeS)	Анал. К. Юханссон (Wickmann, 1948)
95	Bi Pb Cu Fe Zn S Se Нер. ост. Сумма Плотность	52,55 25,70 0,26 0,21 0,19 12,28 8,59 0,06 99,84 7,10	2514 1240 41 38 29 3830 1088		29 29	41 38 80		1240 1240	1654 2481	1:1,265 Bi ₂ S _{2,53}	1:1,420 Bi ₂ (S, Se) _{2,84}	2,82	1:2,027 Pb Bi _{2,027} (S, Se) _{3,878} Pb Bi ₂ (S, Se) ₄ = =Pb(S, Se)·Bi ₂ (S, Se) ₃ S:Se=3,42:1	То же
[96]	Bi Pb Cu Fe S Se Сумма Плотность	49,73 24,62 0,77 0,61 9,82 13,61 99,16 6,97	2379 1188 121 109 3062 1724			109 109 218	12 6	1188 1188	1100 1650	1:1,344 Bi ₂ S _{2,69}	1:1,416 Bi ₂ (S, Se) _{2,83}	2,81	1:2,002 Pb Bi _{2,002} (S, Se) _{3,835} Pb Bi ₂ (S, Se) ₄ = =Pb(S, Se)·Bi ₂ (S, Se) ₃ S:Se=1,643:1	Анал. М. Вейбулл (Weibull, 1885). В качестве примеси указан халькопирит

Химические анализы загрязненного вейбуллита после исключения примесей и пересчета на 100%

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атом. колич.	Избыток Bi в вес. %	Плотность	S:Se в атомн. колич.	Исключенные примеси в вес. %
[91]	Bi	70,54	3375	38,35		20,550:1	FeS — 2,39
	Pb	18,46	891				
	S	9,82	3062				
	Se	1,18	149				
[92]	Bi	61,86	2960		7,08	1,930:1	CuFeS ₂ — 2,90
	Pb	14,59	704				
	Cu	0,38	60				
	S	10,18	3175				
	Se	12,99	1645				
[96]	Bi	51,18	2449		7,06	1,651:1	CuFeS ₂ — 2,00
	Pb	25,34	1223				
	Cu	0,08	12				
	S	9,39	2928				
	Se	14,00	1773				

Результаты пересчета химического анализа виттита (ан. 99)

Компоненты	Вес, %	АТОМН. КОЭФ.	ZnS	FeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi ₂ (S, Se) и формула	Избыток Bi в вес, %	Pb:Bi и формула	(Pb, Cu, Ag) ₂ :Bi и формула	Замечания
Bi	43,33	2073					1:1,479	0,58	1:1,269	1:1,256	Фалун, Швеция, анал. К. Юханссон (Johansson, 1924). В ассоциации с магнетитом, волокнистым антофиллитом, корднеритом и пиритом
Pb	33,85	1634				1634	Bi ₂ (S, Se) _{2,96}	Pb ₅ Bi _{6,345} (S, Se) _{14,560}	Pb ₃ Bi _{6,280} (S, Se) _{14,465}		
Cu	0,08	13			13			Pb ₃ Bi ₆ (S, Se) ₁₄	Pb ₃ Bi ₆ (S, Se) ₁₄		
Ag	0,19	18			18			5Pb(S, Se)·3Bi ₂ (S, Se) ₃	5Pb(S, Se)·3Bi ₂ (S, Se) ₃		
Fe	0,28	50		50							
Zn	0,26	40	40								
S	12,14	3786	40	100	16	1634					
Se	8,46	1071									
С у м м а	99,13										
Плотность	7,12										

Результаты пересчета химических анализов козалита и селенистого козалита*

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во.	ZnS	FeS ₂	CuFeS ₂ или FeAsS	(Cu, Ag) ₂ S	Pbs	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi:S	Избыток Bi или S в вес. %	Pb:Bi и формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂):Bi и формула	Замечания
[100]	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S As С у м м а Плотность	44,48 31,93 3,49 0,22 1,18 0,18 16,68 2,82 100,98 6,22— 6,33	2128 1541 549 20 211 28 5202 376	28 28		211 211	284	1541	247 165	1:1,358 Bi ₂ S _{2,72}	4,18 (Bi)	1:1,488* Pb ₄ (Bi, As) _{5,952} S _{12,144} 4PbS · 3(Bi, As) ₂ S ₃	1:1,256 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₉ (Bi, As) _{10,048} S _{24,471} 9(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · 5(Bi, As) ₂₃	Рецбанья, анал. Френцель (Frenzel, 1874). Ассоциирует с кальцитом, сфалеритом, арсениритом и халькопиритом
(101)	Bi Pb Cu Ag S Нерудн. Вода С у м м а	45,25 33,66 1,16 0,80 16,58 2,19 0,17 99,81	2165 1624 183 74 5171				183 74 128	1624 1624		1:1,579 Bi ₂ S _{3,12}	0,55 (S)	1:1,333 Pb ₃ Bi _{3,999} S _{9,315} 3PbS · 2Bi ₂ S ₃	1:1,236 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₅ Bi _{6,180} S _{14,755} 5(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · 3Bi ₂ S ₃	Диэ Парк, Вашингтон, анал. Р. Уэллс (Bankroft, 1910). С гюбнеритом в кварце
102	Bi Pb Cu Ag Zn S As Sb С у м м а	45,09 24,61 5,84 5,75 0,58 17,17 Сл. 0,84 99,88	2157 1188 919 533 89 5355 — 69	89 89			919 533 726	1188 1188	104 69	1:1,506 Bi ₂ S _{3,01}		1:1,874 Pb(Bi, Sb) _{1,874} · · S _{3,821} PbS · (Bi, Sb) ₂ S ₃	1:1,163 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₇ (Bi, Sb) _{8,141} · · S _{19,257} 7(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · · 4(Bi, Sb) ₂ S ₃	Гладиатор, Колорадо, анал. Ф. Гент (Genth, 1886). Среднее из двух анализов после исключения в одном из них 0,67%, а в другом 19,66% пирита и кварца

[103]	Bi Pb Fe Ni S As Sb С у м м а	43,12 37,22 2,61 0,62 11,40 3,82 He обн. 98,79	2063 1796 467 106 3555 510			63 126	404 106 510 510	1796 1796		1:0,544 Bi ₂ S _{1,09}	27,49 (Bi)	1:1,148 Pb ₇ Bi _{8,036} S _{11,375} 7PbS · 8BiS	Сохондо, анал. Хованский (Шадлуц, 1940). Пластинчатый с арсенопиритом	
[104]	Bi Pb Cu Fe Zn Mn S Sb С у м м а Плотность	40,55 36,45 0,18 0,89 5,52 0,09 15,90 0,36 99,94 6,07	1940 1759 28 159 844 16 4598 30			131 844 262	28 28 56	1759 1759	45 30	1:1,027 Bi ₂ S _{2,05}	12,79 (Bi)	1:1,120 Pb ₂ (Bi, Sb) _{2,240} · · S _{4,464} 2PbS · (Bi, Sb) ₂ S ₃	Нурдмаркен, Швеция, анал. Тодд (Walker, Thomson, 1921). В отраженном свете установлены примеси сфалерита и самородного висмута	
105	Bi Pb Cu Ag Zn S Se As Sb С у м м а	44,95 28,10 8,00 1,44 0,24 16,80 Сл. 0,04 0,52 100,08	2151 1356 1259 133 37 5239 — 5 42			37 37		1259 133 1356 696 1356	70 5 42	1:1,432 Bi ₂ S _{2,86}	2,03 (Bi)	1:1,617 Pb ₅ (Bi, Sb) _{8,085} · · S _{16,620} 5PbS · 4(Bi, Sb) ₂ S ₃	1:1,069 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ (Bi, Sb) _{2,138} · · S _{5,072} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂) S · Bi ₂ S ₃	Аляска, Колорадо, анал. Гент (Gentl, 1886). После исключения 4,03% кварца и халькопирита
(106)	Bi Pb Fe S С у м м а	41,86 39,19 1,32 16,48 99,85	2003 1891 236 5139			236 236		1891 1891		1:1,503 Bi ₂ S _{3,01}		1:1,059 Pb ₂ Bi _{2,118} S _{5,186} 2PbS · Bi ₂ S ₃	Бъелкагрубе, Нурдмаркен, Швеция, анал. Я. Шегрен (Sjögren, 1878—1879). В ассоциации отмечен пирротин	

* Анализы расположены по мере уменьшения в них отношения (Pb, Cu₂, Ag₂): Bi или Pb : Bi, если медь и серебро в образце не установлены.

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeS ₂	CuFeS ₂ или FeAsS	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi:S	Избыток Bi или S в вес. %	Pb:Bi и формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂):Bi и формула	Замечания
[107]	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S Нер. ост. С у м м а	43,54 26,77 8,78 1,35 0,52 Сл. 17,13 0,60 98,69	2083 1292 1382 125 93 — 5342 — —			93 93 186	1289 125 707	1292		1:1,516 Bi ₂ S _{3,03}		1:1,612 Pb ₅ Bi _{8,060} S _{17,215} 5PbS · 4Bi ₂ S ₃	1:1,045 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{2,090} · S _{5,174} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂) S · Bi ₂ S ₃	Аляска, Колорадо, анал. Кенниг (Koenig, 1885). С аляскитом и халькопиритом
(108)	Bi Pb Fe S С у м м а	39,40 37,64 5,13 17,83 100,00	1885 1816 918 5560 —		(FeS) 918 918			1816 1816		1:1,499 Bi ₂ S _{3,00}		1:1,038 Pb ₂ Bi _{2,076} S _{5,112} 2PbS · Bi ₂ S ₃		Бьелкасгрубе, Нурдмаркен, Швеция, анал. Лундстрем (Lundström, 1874). С пирротином и магнетитом
(109)	Bi Pb Cu Ag Fe S Нер. ост. С у м м а Плотность	42,69 36,95 2,25 0,26 0,66 16,77 0,64 100,22 6,80	2042 1783 354 24 118 5230 — — —				354 24 189	1783 1783		1:1,480 Bi ₂ S _{2,96}	0,56 (Bi)	1:1,145 Pb ₂ Bi _{2,290} S _{5,390} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:1,035 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{2,070} · S _{5,064} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂) S · Bi ₂ S ₃	Мак-Елрой, Онтарио, анал. Толд (Walker, 1921). Массивный с иритом, кварцем, кальцитом, хлоритом и небольшим количеством золота
(110)	Bi Pb Fe S Нер. ост. С у м м а	41,55 40,10 0,67 15,98 2,19 100,49	1988 1935 120 4983 — —		(FeS) 120 120			1935 1935		1:1,473 Bi ₂ S _{2,95}	0,75 (Bi)	1:1,027 Pb ₂ Bi _{2,054} S _{5,026} 2PbS · Bi ₂ S ₃		Бьелкасгрубе, Нурдмаркен, Швеция, анал. Шегрен (Sjögren, 1878—1879). См. замечания к предыдущему анализу

111	Bi Pb Cu S С у м м а Плотность	42,38 38,68 2,02 16,59 99,67 6,76	2123 1915 318 5174							318 1915	1915	1:1,360 Bi ₂ S _{2,92}	1,19 (Bi)	1:1,109 Pb ₂ Bi _{2,218} S _{5,238} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:1,024 (Pb, Cu ₂) ₂ Bi _{2,048} S _{4,990} 2(Pb, Cu ₂)S · Bi ₂ S ₃	Мак-Елрой, Онтарио, анал. Тодд (Walker, 1921). Кристаллический с кварцем, кальцитом, хлоритом
[112]	Bi Pb Ag Co S As С у м м а	37,48 33,99 2,81 4,22 15,64 5,37 99,51	1793 1640 260 716 4877 717													Козала, Мексика. анал. Гент (Genth, 1868)
[113]	Bi Pb Cu Ag Fe Ni Co S As Sb Нер. ост. С у м м а Плотность	39,21 37,88 1,24 1,67 1,79 0,05 0,44 15,76 1,47 0,36 0,14 100,01 6,550	1876 1828 195 155 320 8 75 4915 196 196 30													Кобальт, Онтарио, анал. Е. Тодд (Walker, 1921). На шмальтине и кобальтине
114	Bi Pb Cu S Sb Нер. ост. С у м м а Плотность	40,32 41,78 0,15 16,00 1,12 0,45 99,82 6,94	1929 2016 24 4990 92													Центральный Казахстан, анал. В. М. Сендерова (Ермилова, Сендерова, 1955). В ассоциации с самородным висмутом, висмутином, галенимом, халькопиритом, пирротинном и сфалеритом.

8*

[118]	Bi Pb Cu Ag Fe S С у м м а Плотность	41,75 37,68 3,41 0,32 0,68 15,92 99,76 6,766	1998 1818 537 30 122 4965						122 122 244	415 30 222	1818	1:1,342 Bi ₂ S _{2,68}	4,41 (Bi)	1:1,099 Pb ₂ Bi _{2,198} S _{4,950} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:0,979 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{1,958} · · S _{4,628} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · Bi ₂ S ₃	Васкё, анал. Кох (Koch, 1930). Волок- нистые агрегаты в до- ломите
119	Bi Pb Cu Ag Fe S С у м м а Плотность	42,34 36,23 3,41 1,50 0,19 16,33 100,00 7,13	2026 1748 537 139 34 5093						34 34 68	503 139 321	1748	1:1,459 Bi ₂ S _{2,92}	1,15 (Bi)	1:1,159 Pb ₂ Bi _{2,318} S _{5,382} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:0,979 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{1,958} S _{4,858} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · Bi ₂ S ₃	Васкё, анал. Лочка (Loczka, 1926). Тон- кие иглы в доломите
[120]	Bi Pb Cu Fe S Пер. ост. С у м м а	40,22 31,60 7,38 1,51 18,44 0,95 100,10	1924 1525 1161 270 5751						270 270 540	891 446	1525	1:1,684 Bi ₂ S _{3,37}	1,14 (S)	1:1,262 Pb ₈ Bi _{10,096} S _{24,992} 8PbS · 5Bi ₂ S ₃	1:0,1976 (Pb, Cu ₂) ₂ Bi _{1,952} S _{5,288} 2(Pb, Cu ₂)S · Bi ₂ S ₃	Догнэчка, анал. Кох (Koch, 1948)
[121]	Bi Pb Ag Co S As С у м м а	39,06 37,72 2,48 2,41 15,59 3,07 100,33	1869 1820 230 409 4862 410						409 409 410	230 115	1820	1:1,347 Bi ₂ S _{2,69}	3,97 (Bi)	1:1,027 Pb ₂ Bi _{2,054} S _{4,768} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:0,966 (Pb, Ag ₂) ₂ Bi _{1,932} S _{4,602} 2(Pb, Ag ₂)S · Bi ₂ S ₃	Козала, Мексика, анал. Гент (Genth, 1868). С кобальтином; см. Дэна и др. (1950)

115

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeS ₂	Cu FeS ₂ или Fe ASS	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi:S	Избыток Bi или S в вес. %	Pb:Bi и формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂):Bi и формула	Замечания
(122)	Bi Pb Cu Ag Fe S Sb С у м м а	41,11 39,74 1,79 0,66 0,28 16,73 0,29 100,60	1967 1918 282 61 50 5217 24			50 50 100	232 61 148	1918 1918	36 24	1:1,533 Bi ₂ S _{3,07}	0,20 (S)	1:1,038 Pb ₂ (Bi, Sb) _{2,076} · · S _{5,182} 2PbS · (Bi, Sb) ₂ S ₃	1:0,964 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ (Bi, Sb) _{1,928} · · S _{4,954} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · · (Bi, Sb) ₂ S ₃	Бергелль, Швейцария, анал. X Шумани (Hugi, 1931). Главный компонент из смеси трех образующих структуру, близкую к структуре распала твердого раствора. Ассоциирует с молибденитом и халькопиритом
(123)	Bi Pb Cu Ag Fe S Sb CaO MgO Нер. ост. С у м м а	40,28 40,37 0,33 1,05 Сл. 15,5 Сл. 0,70 Сл. 1,26 99,49	1927 1948 52 97 — 4834 — — — —				52 97 74	1948 1948		1:1,459 Bi ₂ S _{2,92}	1,11 (Bi)	1:0,989 Pb ₂ Bi _{1,978} S _{4,888} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:0,953 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{1,906} · · S _{4,781} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · Bi ₂ S ₃	Югадзыра, МНР, анал. В. М. Сендерова (Каленов, 1962)
(124)	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S SiO ₂ П. п. п. С у м м а	34,51 21,51 2,32 13,47 0,87 0,60 15,56 9,01 0,76 98,61	1651 1038 365 1249 156 92 4852	92 92		156 156 312	209 1249 729	1038 1038		1:1,624 Bi ₂ S _{3,25}	0,66 (S)	1:1,590 Pb ₅ Bi _{7,950} S _{17,915} 5PbS · 4Bi ₂ S ₃	1:0,934 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{1,868} · · S _{5,034} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · Bi ₂ S ₃	Лорете Майн, Мексика, анал. Тилден (Le Neve Foster, 1886). С кварцем, пиритом и халькопиритом

[125]	Bi Pb S Нер. ост. С у м м а	38,28 41,29 15,80 1,79 97,16	1832 1993 4927						1993 1993	1:1,620 Bi ₂ S _{3,24}	0,60 (S)	1:0,919 Pb ₂ Bi _{1,888} S _{4,944} 2PbS · Bi ₂ S ₃		Карибу, Британская Колумбия, анал. Г. Ел- дридж (Waggen, 1939). Ассоциирует с галено- бисмутитом
[126]	Bi Pb Cu Fe S Sb Нер. ост. С у м м а Плотность	40,21 39,55 2,71 0,25 17,20 0,04 0,74 100,70 6,63	1924 1909 426 45 5364 3		45 45 90	381		1909		1:1,646 Bi ₂ S _{3,24}	1,22 (S)	1:1,009 Pb ₂ (Bi, Sb) _{2,018} · · S _{5,324} 2PbS · (Bi, Sb) ₂ S ₃	1:0,917 (Pb, Cu) ₂ (Bi, Sb) _{1,834} · · S _{5,020} 2(Pb, Cu) ₂ S · (Bi, Sb) ₂ S ₃	Васкё, анал. Вари- нец (Tokodi, Varincsz, 1935). Авторы ведут пересчет на FeS ₂ и CuS
(127)	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S As С у м м а Плотность	36,35 38,13 0,86 1,50 2,82 1,54 16,35 3,02 100,57 6,22— 6,33	1739 1840 135 139 505 236 5099 403		403 403 403	102 33 139		1840		1:1,398 Bi ₂ S _{2,80}	2,45 (Bi)	1:0,956 Pb ₂ Bi _{1,912} S _{4,644} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:0,913 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{1,826} · · S _{4,526} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · Bi ₂ S ₃	Рецбанья, анал. Френцель (Frenzel, 1874)
[128]	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S As С у м м а Плотность	35,46 38,04 0,85 1,24 3,09 1,53 15,88 3,02 99,11 6,22— 6,23	1696 1836 134 115 553 234 4952 403		403 403 403	134 115		1836		1:1,250 Bi ₂ S _{2,50}	5,91 (Bi)	1:0,924 Pb ₂ Bi _{1,848} S _{4,312} 2PbS · Bi ₂ S ₃	1:0,896 (Pb, Ag ₂) ₃ Bi _{8,064} S _{19,089} 9(Pb, Ag ₂)S · 4Bi ₂ S ₃	Рецбанья, анал. Френцель (Frenzel, 1874). Оставшееся же- лезо связано с пирит

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомы, колич.	ZnS	FeS ₂	CuFeS ₂ или FeAsS	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi:S	Избыток Bi или S в вес. %	Pb:Bi в формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂):Bi в формула	Замечания
[129]	Bi Pb Cu Ag S W Fe (не раст. в кисл.) CaO R ₂ O ₃ (раств. в кисл.) Пер. ост. С у м м а	24,96 24,19 2,10 1,28 10,78 6,77 2,49 2,86 4,33 18,14 97,90	1194 1167 330 119 3362				330	1167		1:1,650 Bi ₂ S _{3,30}	0,57 (S)	1:1,023 Pb ₂ Bi _{2,046} S _{5,376} 2PbS·Bi ₂ S ₃	1:0,858 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₂ Bi _{1,716} · ·S _{4,830} 2(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S·Bi ₂ S ₃	Гоцделчевско, Болгария, анал. Христова (Запрянова Христова, 1960). С шеелитом, халькопиритом и пиритом в пироксеновом скарне
130	Bi Pb Cu S С у м м а	39,85 41,20 3,60 16,40 100,55	1883 1988 566 5114				566 283	1988 1988		1:1,510 Bi ₂ S _{3,02}		1:0,947 Pb ₂ Bi _{1,891} S _{4,860} 2PbS·Bi ₂ S ₃	1:0,829 (Pb, Cu ₂) ₂ Bi _{4,145} S _{11,260} 5(Pb, Cu ₂)S·2Bi ₂ S ₃	Карибу, Британская Колумбия, анал. Джонсон (Waggen, 1939). Ассоциирует с галенобисмутитом
131	Bi Pb Ag S С у м м а	41,58 32,38 9,98 16,06 100,00	1989 1563 925 5008				925 462	1563 1563		1:1,500 Bi ₂ S ₃		1:1,273 Pb ₈ Bi _{10,184} S _{23,264} 8PbS·5Bi ₂ S ₃	1:0,799 (Pb, Ag ₂) ₅ Bi _{3,995} S _{10,065} 5(Pb, Ag ₂)S·2Bi ₂ S ₃	Янки Гёрл, Колорадо, анал. Лоу (Pearce, 1883—1884). Пересчет на 100% после исключения примесей халькопирита

Селенистый козалит

119

(132)	Bi	43,09	2062							Bi:	1:1,869	1:1,476	Рецбанья, анал.	
	Pb	22,86	1103				1103			:(S, Se)=	PbBi _{1,869} ·	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₄ Bi _{5,904} ·	Грасселлай (Grasse)	
	Cu	3,51	552		312	240				= 1:1,716	·(S, Se) _{4,208}	·(S, Se) _{14,132}	ly, 1948).	
	Ag	3,74	347				347			Bi ₂ ·	Pb(S, Se) ·	4(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)(S, Se) ·		
	Fe	1,74	312		312					·(S, Se) _{3,43}	·Bi ₂ (S, Se) ₃	·3Bi ₂ (S, Se) ₃		
	S	15,16	4728		624	291	1103							
	Se	6,57	832											
	Нер. ост.	3,05												
	С у м м а	99,72												
(133)	Bi	31,26	1496	(FeS)						Bi:(S, Se,	1,71	1:0,816	1:0,796	Болиден, Швеция,
	Pb	43,85	2116				2116			Te)=	(Bi)	Pb ₅ (Bi, Sb) _{4,080}	(Pb, Ag ₂) ₅ (Bi, Sb) _{3,980} ·	анал. Берггрен (Öd-
	Cu	0,13	20		20					= 1:1,418		(S, Se, Te) _{10,830}	·(S, Se, Te) _{10,690}	man, 1941). Среднее
	Ag	1,10	102			102				Bi ₂ (S, Se,		5PbX · 2(Bi, Sb) ₂ X ₃	5(Pb, Ag ₂)X · 2(Bi, Sb) ₂ X ₃	из двух анализов. С
	Fe	0,29	52	32	20					Te) _{2,83}				галенитом, самород-
	S	12,31	3839	32	40	51	2116	345						ным висмутом, штерн-
	Se	6,35	804											бергтитом, гирротин-
	Te	0,80	63											ном, халькопиритом и
	Sb	2,80	230					230						неизвестным минерал-
	Нер. ост.	1,14												лом. Мышьяк, золото,
	С у м м а	100,03												кобальт и никель не
	Плотность	7,00												обнаружены

Химические анализы загрязненного козалита после исключения примесей и пересчета на 100%

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. количество	Избыток Bi в вес. %	Плотность	Me: X Me = Pb, Cu, Ag ₂ X = Bi, Sb, (As)	Исключенные примеси в вес. % до приведения к 100 %	
[100]	Bi	45,72	2188	4,37	6,24—6,35	1:1,240	FeAsS	—3,44
	Pb	32,83	1584	—			ZnS	—0,37
	Cu	3,59	565	—				
	Ag	0,23	21	—				
	S	16,36	5102	—				
	As	1,27	170	—				
101	Bi	46,43	2222	—	—	1:1,235	Нер. ост.	— 2,19
	Pb	34,54	1667	—			Вода	— 0,17
	Cu	1,19	187	—				
	Ag	0,82	76	—				
	S	17,01	5305	—				
[103]	Bi	48,07	2300	30,78	—	1:1,149	(Fe,Ni)AsS	— 8,34
	Pb	41,49	2002	—			FeS ₂	— 0,75
	S	10,43	3253	—				
[104]	Bi	45,30	2167	14,38	6,42	1:1,024	ZnS	— 8,23
	Pb	40,72	1965	—			FeS ₂	— 1,57
	S	13,58	4235	—			CuFeS ₂	— 0,52
	Sb	0,40	35	—			Mn	— 0,09
106	Bi	43,46	2079	1,99	—	1:1,058	FeS	— 2,08
	Pb	40,69	1964	—				
	S	15,84	4940	—				
[107]	Bi	45,17	2161	—	—	1:1,041	CuFeS ₂	— 1,71
	Pb	27,78	1341	—			Нер. ост.	— 0,60
	Cu	8,50	1338	—				
	Ag	1,40	130	—				
	S	17,15	5348	—				
108	Bi	42,86	2051	—	—	1:1,038	FeS	— 8,07
	Pb	40,94	1976	—				
	S	16,20	5052	—				
109	Bi	43,49	2081	0,48	6,91	1:1,036	FeS ₂	— 1,42
	Pb	37,64	1816	—			Нер. ост.	— 0,64
	Cu	2,29	360	—				
	Ag	0,26	24	—				
	S	16,31	5086	—				
110	Bi	42,72	2044	0,48	—	1:1,027	FeS	— 1,05
	Pb	41,23	1990	—			Нер. ост.	— 2,19
	S	16,04	5002	—				
[112]	Bi	42,78	2047	4,76	—	1:1,013	CoAsS	— 11,89
	Pb	38,79	1872	—				
	Ag	3,21	298	—				
	S	15,22	4750	—				

№ анализа	Компоненты	Вс. %	Атомн. количество	Избыток Bi в вес. %	Плотность	Me: X Me = Pb. Cu ₂ , Ag ₂ X = Bi, Sb, (As)	Исключенные примеси в вес. % до приведения к 100 %
[113]	Bi Pb Ag S Sb	42,18 40,74 1,80 14,89 0,89	2018 1966 167 4644 32	4,83 — — — —	6,72 — — — —	1:1,000	CuFeS ₂ — 3,69 (Fe, Co, Ni)AsS — 2,73 Нер. ост. — 0,14
115	Bi Pb Cu Ag S	43,98 23,02 7,68 8,63 16,69	2104 1111 1209 800 5205	0,92 — — — —	— — — — —	1:0,995	FeS ₂ — 1,50 Нер. ост. — 1,29
[116]	Bi Pb Ag S	41,80 32,57 10,04 [15,58]	2000 1571 931 [4859]	2,49 — — —	— — — —	1:0,982	CuFeS ₂ — 10,81 FeS ₂ — 2,56
[118]	Bi Pb Cu Ag S	42,81 38,63 2,71 0,33 15,52	2048 1864 427 30 4840	4,51 — — — —	7,04 — — — —	1:0,979	CuFeS ₂ — 1,85
[120]	Bi Pb Cu S	42,70 33,55 6,01 17,74	2043 1619 946 5532	— — — —	— — — —	1:0,976	CuFeS ₂ — 4,96 Нер. ост. — 0,95
[121]	Bi Pb Ag S	41,76 40,32 2,65 15,27	1998 1946 246 4762	4,24 — — —	— — — —	1:0,966	CoAsS — 6,79
122	Bi Pb Cu Ag S Sb	41,25 39,88 1,47 0,66 16,44 0,29	1974 1925 232 61 5127 24	— — — — — —	7,06 — — — — —	1:0,953	CuFeS ₂ — 0,92
123	Bi Pb Cu Ag S	41,30 41,39 0,33 1,08 15,90	1976 1997 52 100 4958	1,11 — — — —	— — — — —	1:0,953	CaO — 0,70 Нер. ост. — 1,26
[124]	Bi Pb Cu Ag S	40,56 25,28 1,56 15,83 16,76	1941 1222 246 1467 5227	— — — — —	— — — — —	1:0,934	CuFeS ₂ — 2,86 ZnS — 0,90 SiO ₂ — 9,01 Нер. ост. — 0,76 п. п. п. — 0,76
[125]	Bi Pb S	40,14 43,29 16,57	1920 2089 5167	— — —	— — —	1:0,919	Нер. ост. — 1,79

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. количество	Избыток Bi в вес. %	Плотность	Me:X Me=Pb, Cu ₂ , Ag ₂ X=Bi, Sb, (As)	Исключенные примеси в вес. % до приведения к 100 %
[126]	Bi	40,56	1941	—	6,66	1:0,916	CuFeS ₂ — 0,82
	Pb	39,89	1925	—	—		Нер. ост. — 0,74
	Cu	2,45	386	—	—		
	S	17,06	5320	—	—		
	Sb	0,05	4	—	—		
127	Bi	40,46	1936	4,33	6,38—6,51	1:0,903	FeAsS — 7,19
	Pb	42,44	2048	—	—		ZnS — 2,30
	Cu	0,23	36	—	—		CuFeS ₂ — 1,67
	Ag	1,67	155	—	—		
	S	15,19	4737	—	—		
[128]	Bi	40,42	1934	6,19	6,40—6,54	1:0,896	FeAsS — 7,19
	Pb	43,37	2093	—	—		ZnS — 2,30
	Ag	1,41	131	—	—		CuFeS ₂ — 2,28
	S	14,80	4615	—	—		
1129]	Bi	39,42	1886	—	—	1:0,880	W — 6,77, CaO — 2,86
	Pb	38,21	1844	—	—		Fe — 2,49, R ₂ O ₃ — 4,33
	Cu	3,32	522	—	—		
	Ag	2,02	187	—	—		Нер. ост. — 18,14
	S	17,03	5311	—	—		
132	Bi	47,38	2267	—	—	1:1,477	CuFeS ₂ — 5,73
	Pb	25,14	1213	—	—		Нер. ост. — 3,05
	Cu	1,67	263	—	—		
	Ag	4,11	381	—	—		
	S	14,47	4512	—	—		
	Se	7,22	914	—	—		
133	Bi	31,96	1529	—	7,16	1:0,690	CuFeS ₂ — 0,34
	Pb	44,83	2164	—	—		FeS — 0,31
	Ag	1,12	104	—	—		Нер. ост. — 1,14
	S	11,92	3717	—	—		
	Se	6,49	822	—	—		
	Te	0,82	64	—	—		
	Sb	2,86	235	—	—		

Результаты пересчета химических анализов лиллианита

№ анализа	Компоненты	Вес %	Атомн. кол-во	ZnS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃	(Bi, Sb): :(S, Se)	Избыток Bi или S в вес. %	Pb : (Bi, Sb) и формула	(Pb, Cu, Ag ₂ : (Bi, Sb) и формула	Замечания
135	Bi Pb Cu Fe Zn S С у м м а	42,94 18,04 20,86 Мало Мало 17,70 99,54	2051 871 3283 5520				3283	871		1:1,464 Bi ₂ S _{2,35}	1,02 (Bi)	1:2,358 Pb ₆ Bi ₁₄ 148S ₂₆₇ 712 6PbS · 7Bi ₂ S ₃	1:0,817 (Pb, Cu) ₅ Bi _{4,085} S ₁₀₇ 85 5(Pb, Cu) ₂ S · 2Bi ₂ S ₃	Гладхаммар, Швеция, анал. Линдстрём (Lindström, 1887). С небольшой примесью самородного висмута и магнетита
(136)	Bi Pb Cu Ag Fe Zn S Se Sb С у м м а Плотность	26,43 43,83 2,65 0,88 1,23 0,49 15,93 2,97 5,30 99,71 7,22	1264 2115 417 81 220 75 4968 376 435				220 197 81	2115		1:1,521 Bi ₂ S _{3,01}		1:0,803 Pb ₂ (Bi, Sb) _{1,015} (S, Se) _{11,085} 5Pb(S, Se) · 2(Bi, Sb) ₂ (S, Se) ₃ Bi : Sb = 1:0,344 S : Se = 1,321:1	1:0,754 (Pb, Cu ₂ , Ag ₂) ₈ (Bi, Sb) _{6,032} (S, Se) _{17,410} 8(Pb, Cu ₂ , Ag ₂)S · · 3(Bi, Sb) ₂ · (S, Se) ₃	Ильярви, анал. Боргстрём (Borgström, 1910). С галенитом, халькопиритом, пирротином, арсениопиритом, пиритом, сфалеритом, мусковитом, биотитом, самородным золотом, серым кварцем и андалузитом. Назван селенистым лиллианитом. Среднее из двух определений

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃	(Bi, Sb): :(S,Se)	Избыток Bi или S в вес. %	Pb: (Bi, Sb) и формула	(Pb, Cu, Ag ₂): (Bi, Sb) и формула	Замечания
[137]	Bi Pb Cu Fe S Нер. ост. С у м м а	11,43 15,10 С.л. 3,61 6,21 63,65 100,00	547 729 — 616 1937		646 646			729 729		1:1,027 Bi ₂ S _{2,05}	3,59 (Bi)	1:0,750 Pb ₈ Bi _{6,00} S _{14,168} 8PbS·3Bi ₂ S ₃		Ильинское месторождение, анал. К. А. Бакланова (Еникеева, 1956). С пиритом, пиррогнитом, халькопиритом и сфалеритом в тремолите
[138]	Bi Pb Cu Fe Zn S Se Остаток С у м м а	34,60 47,62 0,20 0,47 0,52 15,89 0,35 0,31 99,96	1656 2298 31 84 80 4955 44		53 53	31 62		2298 2298		1:1,513 Bi ₂ (S,Se) _{3,02}		1:0,721 Pb ₃ Bi _{2,163} (S,Se) _{6,405} 3Pb(S,Se)·Bi ₂ (S,Se) ₃		Гладхаммар, Швеция, анал. Юханссон (Johansson, 1924 ₁)
[139]	Bi Pb Cu Fe Zn S	33,84 48,05 0,69 0,16 0,05 15,92	1619 2319 108 29 8 4965			29 29	79	2319 2319		1:1,569 Bi ₂ S _{3,14}	0,36 (S)	1:0,698 Pb ₃ Bi _{2,094} S _{6,285} 3PbS·Bi ₂ S ₃		Гладхаммар, Швеция, анал. Линдстрём (Lindström, 1889)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	(Cu,Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃	(Bi, Sb); (S, Se)	Избыток Bi или S в вес. %	Pb: (Bi, Sb) и формула	(Pb, Cu,Ag) ₂ ·(Bi, Sb) и формула	Замечания
[142]	Bi Pb Ag S Sb Сумма	33,17 48,30 2,20 15,49 0,15 99,31	1587 2331 201 4831 12				204 102	2331	18 12	1:1,500 Bi ₂ S ₃		1:0,686 Pb ₃ (Bi, Sb) _{2,058} S _{6,081} 3PbS · 2(Bi, Sb) ₂ S ₃	1:0,657 (Pb, Ag ₂) ₃ (Bi, Sb) _{1,971} S _{5,958} 3(Pb, Ag ₂) S · 6Bi ₂ S ₃	Букука, анал. Г. Арапова (Онтосв, 1959). С козалином и галенимом
[143]	Bi Pb Cu Fe S Sb Сумма Плотность	33,23 48,21 1,74 Сл 15,73 0,24 99,15 7,09	1590 2327 274 Сл 4906 20			274	137	2327	30 20	1:1,517 Bi ₂ S _{3,03}	0,09 (S)	1:0,692 Pb ₃ (Bi, Sb) _{2,076} S _{6,147} 3PbS · (Bi, Sb) ₂ S ₃	1:0,653 (Pb, Cu) ₂ (Bi, Sb) _{1,959} S _{5,973} 3(Pb, Cu) ₂ S · (Bi, Sb) ₂ S ₃	Гладхаммар, Швеция анал. Тодд (Walker, Thomson, 1921 г.) Очень однородный

Химические анализы загрязненного лиллианита после исключения примесей
и пересчета на 100%

№ анализа	Компонента	Вес. %	Атомн. колич.	Избыток Bi, вес. %	Плотность	Примеси	Основные характеристики
136	Bi	27,84	1332		7,45	CuFeS ₂ — 4,04	(Pb, Cu ₂ Ag ₂) : (Bi, Sb) = = 1 : 0,754 Bi : Sb = 1 : 0,344 S : Se = 10,240
	Pb	46,16	2228			ZnS — 0,73	
	Cu	1,32	208				
	Ag	0,93	86				
	S	15,04	4690				
	Se	3,13	396				
	Sb	5,58	458				
137	Bi	31,44	1504			Нер. ост.—63,65	Bi : S = 1 : 1 (FeS). Если Fe из силикатов, так как в примечаниях пирит, халькопирит и пи- рротин указаны как ред- кие, т. е. Bi : S = 1 : : 2,208
	Pb	41,54	2005				
	Fe	9,93	1778				
	S	17,08	5326				
138	Bi	35,37	1707	4,05		ZnS — 0,78	Pb : Bi = 1 : 0,733
	Pb	48,68	2329			CuFeS ₂ — 0,57	
	S	15,60	4865			FeS — 0,47	
	Se	0,35	44			Нер. ост. — 0,31	

Результаты пересчета химических анализов варганта и гунгарита

№ анализа	Компоненты	Вес, %	Атомн. колич.	ZnS	FeS	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Sb ₂ S ₃	Bi : S	Избыток Bi в вес. %	Pb : Bi и формула	(Pb, Cu ₂ , Ag ₂) : Bi и формула	Замечания
144	Bi	28,81	1378							Bi:(S, Se) =		1:0,530	1:0,520	Лейк-Гунгарит, Австралия, анал. Е. С. Симпсон (Simpson, 1924). Мышьяк, золото, теллур не обнаружены. Из кварцевой жилы; другие минералы не установлены; после исключения 1,72% кварца
	Pb	54,26	2618					2618		= 1:1,498		$Pb_4(Bi, Sb)_{2,120} \cdot (S, Se)_{7,176}$	$(Pb, Ag_2)_4(Bi, Sb)_{2,680} \cdot (S, Se)_{7,116}$	
	Ag	1,05	97				97			$Bi_2(S, Se)_3$	3,01	$Pb_4(Bi, Sb)_2(S, Se)_7$	$(Pb, Ag_2)_4(Bi, Sb)_2 \cdot (S, Se)_7 =$	
	Fe	0,17	30		30							$4Pb(S, Se) \cdot (Bi, Sb)_2 \cdot (S, Se)_3$		
	Zn	0,06	9	9									$= 4(Pb, Ag)(S, Se) \cdot$	
	S	15,24	4753	9	30		48	2618	14				$\cdot (Bi, Sb)_2(S, Se)_3$	
	Se	0,24	30											
	Sb	0,11	9						9					
	С у м м а	99,94												
	Плотность	7,29												

145	Bi	28,18	1348					1:1,459	0,33	1:0,512	1:0,490
	Pb	51,53	2632				2632	$Bi_2S_{2,02}$		$Pb_4Bi_{2,048}S_{6,988}$	$(Pb, Cu, Ag)_4Bi_{1,960}S_{6,864}$
	Cu	1,05	165	30	135					$Pb_4Bi_2S_7$	$(Pb, Cu_2, Ag_2)_4Bi_2S_7 =$
	Ag	1,01	94		94					$4PbS \cdot Bi_2S_3$	$= 4(Pb, Cu_2, Ag_2)S \cdot Bi_2S_3$
	Fe	0,17	30	30							
	S	15,31	4774	60	115	2632					
	С у м м а	100,25									
	Плот- ность	7,163									

Васкё, анал. Я.
Лочка (Loczka,
1926). В известня-
ке со сфалеритом,
пиритом и гемати-
том

Результаты пересчета химических анализов беегерита

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi : S	Избыток Bi в вес. %	Pb : Bi и формула	(Pb, Ag ₂) : Bi и формула	Замечания
[146]	Bi	22,15	1060					1:1,312	2,78	1:0,346		Юлия, анал. Л. Л. Солодовникова (1927). С галенитом, пиритом, иногда халькопиритом; обнаружены следы селена и мышьяка
	Pb	63,43	3061				3061	Bi ₂ S _{2,62}				
	Ag	0,02	2			2						
	S	14,28	4453			1	3061					
	С у м м а	99,88										
	Плотность	7,2713										
[147]	Bi	19,35	926					1:1,513		1:0,418	1:0,346	Урэй, Колорадо, анал. Г. А. Кеннг (Koenig, 1895). С пиритом, халькопиритом, баритом и кварцем. Большому недостатку суммы не может найти объяснения
	Pb	45,87	2214				2214	Bi ₂ S _{3,03}				
	Cu	1,12	176		176							
	Ag	9,98	925			925						
	Fe	2,89	517	341	176							
	S	16,39	5111	682	352	462	2214					
	Нер. ост.	0,12										
	С у м м а	95,72										
Плотность	6,565											

Результаты пересчета химических анализов галенита

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	Ag ₂ BiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замещения
<i>Висмутсодержащий галенит</i>													
(150)	Pb	64,04	3090									1:0,906 5,82 % (Pb)	Ледвилл, Колорадо, анал. Стевенс (Charman, Stevens, 1933). С пиритом, марматитом, халькопиритом, ай-киннитом, алтанитом, галенобисмутитом, гесситом, тетраэдритом
	Bi	11,47	549					549					
	Ag	6,04	560					560					
	Cu	0,26	41				41						
	Fe	1,48	265		13	211	41						
	Zn	0,56	86	86									
	S	14,59	4550	86	13	422	82	1108		30			
	Sb	0,23	19							19			
	As	0,10	13		13								
	SiO ₂	0,71											
	С у м м а	99,48											
Плотность	7,16												
(151)	Pb	73,81	3562									1:1,094 1,07 (S)	«Тинит» Оридди, Сардиния, анал. Розетти (Rossetti, 1950). Пересчитано у автора на 100% после вычитания SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , MnO, CaO в виде граната
	Bi	8,52	408							300			
	Ag	1,16	108					108					
	Zn	1,26	193	193									
	S	15,25	4756	193							450		
	С у м м а	100,00						216					
152	Pb	74,75	3607									1:0,972 2,07 (Pb)	Букука, анал. Г. Арапова (Онтюев и др., 1960). В кварце с молибденитом, вольфрамитом, пирротинном, беегеритом
	Bi	7,61	364					319		45			
	Ag	3,44	319					319					
	Zn	0,18	28	28									
	S	13,60	4241	28							68		
	С у м м а	99,58						638					

[153]	Pb Bi S С у м м а	79 6 13 98	3812 287 4054							287 430	1:0,951 3,90 (Pb)	Кьеннер, анал. В. М. Гольдшмидт (Goldschmidt, 1911). С висмутном
[154]	Pb Bi S С у м м а	77,72 4,39 12,98 95,09	3751 210 4048							210 315	1:0,995 0,37 (Pb)	Ольгинский район, анал. О. А. Алексеева (Радкевич и др., 1960). Почему-то авторами отнесен к галенобисмутиту
[155]	Pb Bi Ag Fe Zn S W MgO SiO ₂ С у м м а	76,74 4,29 2,99 0,17 0,42 13,64 0,72 0,36 0,10 99,43	3703 205 277 30 64 4254	64	30			205 205	72		1:0,995 0,39 (Pb)	Букука, анал. Г. Арапова (Онтоев и др., 1960). С сфалеритом, пиритом, халькопиритом, пирротинном, станином, беегеритом
156	Pb Bi Ag S Sn Нер. ост. С у м м а	79,89 4,06 1,50 14,11 0,60 0,89 100,04	3807 194 139 4400					139 139 278		55 82	1:1,061 0,75 (S)	Букука, анал. П. Н. Ниссенбаум (Онтоев и др., 1960). В ассоциации те же сульфиды, что в предыдущем анализе
157	Pb Bi Ag S Te С у м м а	80,75 3,93 1,39 13,58 0,41 100,06	3897 188 129 4235 32					129 129 258		59 89	Pb:(S, Te) = = 1:1,006 0,03(S)	Баевка, Средний Урал, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Следы селена

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₃	(Cu,Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
158	Pb Bi Ag Cu S SiO ₂ PbO CO ₂ С у м м а	81,93 3,45 0,37 0,26 13,49 0,55 0,40 0,08 100,53	3954 165 34 41 4207					34 34	41 20		131 196	1:0,992 0,64 (Pb)	Акчагыл, анал. П. Н. Ниссенбаум (Нестерова, 1958); PbO и CO ₂ вычислены; следы Zn
[159]	Pb Bi S С у м м а	82,70 2,85 13,50 99,05	3981 136 4210								136 204	1:1,004	Скьелдевик, Норвегия, анал. Шетеллиг (Schetelig, 1918)
(160)	Pb Bi Cu Fe Zn S Se Te Нер. ост. С у м м а	82,00 1,96 0,01 0,69 0,58 14,10 0,14 0,06 0,65 100,19	3957 94 124 89 4397 18 5	89 89		124 248					94 141	1:0,995 0,39 (Pb)	Акчагыл, анал. В. М. Сендерова (Чухров, 1944). С сфалеритом, халькопиритом среди скарновых силикатных минералов

161	Pb Bi Ag S Sb Sn Нер. ост. С у м м а	83,21 1,85 0,93 13,44 0,04 0,21 0,46 100,14	4016 88 86 4191 3					88 86 174		4 3	1:0,999	То же, что ан. 156
[162]	Pb Bi Ag Fe S SiO ₂ С у м м а	82,04 1,68 0,15 0,78 13,77 0,32 98,74	3959 80 14 61 4294			61 122		14 14 28		66 99	1:0,996 0,29 (Pb)	Кзыл-Эспе, анал. П. Н. Ниссенбаум (Нестерова, 1958). У Нестеровой сумма указана 99,64; возможна ошибка в цифрах
(163)	Pb Bi Ag Zn S Te Нер. ост. С у м м а	81,92 1,36 0,22 1,19 [13,53] 0,45 1,30 99,97	3953 65 20 182 4219 35			182 182		20 20 40		45 68	1:1,003 0,04 (S)	Сновай Ренджь, Колорадо, анал. Е. Вальстром (Wahlstrom, 1937). С пиритом, халькопиритом, сфалеритом и молибденитом; сера определена расчетом
164	Pb Bi Ag S Se Te Sb Sn Нер. ост. С у м м а	83,61 1,25 0,80 13,49 0,014 0,1372 0,05 0,35 0,70 100,40	4035 60 74 4207 2 11 4					60 60 120		14 7 6 4	1:1,012 0,17 (S)	То же, что ан. 156; сумма в первоисточнике 100,25!

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₃	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или Ag ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[165]	Pb Bi Ag Zn [S] Te Нер. ост. С у м м а	81,40 1,12 0,12 0,96 [13,25] 0,41 1,32 98,58	3928 54 11 147 4132 32	147 147				11 11 22			43 64	1:1,000	Эуксека, Колорадо, анализ Е. Е. Вальстром (Wahlstrom, 1937). Сера определена расчетом; до 100% дополняет растворимыми примесями (1,42%)
166	Pb Bi Ag S SiO ₂ С у м м а	84,86 1,07 0,21 13,87 0,40 100,41	4095 51 19 4325					19 19 38			32 48	1:1,035 0,46 (S)	Акчагыл, анализ П. Н. Ниссенбаум (Нестерова, 1958)
[167]	Pb Bi Ag Fe S SiO ₂ PbO CO ₂ С у м м а	84,08 0,99 0,15 0,35 13,66 0,05 [0,15] [0,03] 99,46	4058 47 14 63 4260			63 126		14 14 28			33 49	1:0,984 1,30 (Pb)	То же, что анализ 166; PbO и CO ₂ вычислены

[168]	Pb Bi Ag Fe S Sb Нер. ост. С у м м а	81,31 0,95 0,60 0,95 14,55 0,06 0,76 99,18	3924 45 56 170 4538 5				170 340	45 45	11		8 5	1:0,40 0,50 (S)	То же, что ан. 156; Se и Te не определены
169	Pb Bi Ag S Нер. ост. С у м м а	84,70 0,83 0,40 13,57 0,65 100,15	4088 40 37 4231					40 37 76				1:1,016 0,21 (S)	Восточный Каунрад, анал. П. Н. Инсенбаум (Чухров, 1960). С пиритом, сфалеритом и халькопиритом
170	Pb Bi Ag Fe S С у м м а Плотность	85,67 0,76 0,05 0,39 13,59 100,46 7,508	4134 36 5 70 4238			70 70		5 5			31 46	1:0,995 0,46 (Pb)	Нурдмаркен, Швеция, анал. К. А. Валлрот (Sjögren, 1884—1885)
[171]	Pb Bi Ag S SiO ₂ PbO CO ₂ С у м м а	84,44 0,39 0,24 13,19 0,32 [2,03] [0,40] 101,01	4075 19 22 4113					19 22 40				1:1,000	Кзыл-Эспе, анал. П. Н. Инсенбаум (Нестерова, 1958)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAs	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₃	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
172	Pb Bi Ag Fe S Sb С у м м а Плотность	85,94 0,22 0,12 0,03 13,96 0,15 100,42 7,536	4147 10 11 5 4353 12			5 10		10 11 20		18 12		1:0,038 0,51 (S)	Садон, анал. Т. Л. Покровская (Нестерова, 1958)
[173]	Pb Bi Ag Fe Zn S С у м м а Плотность	85,43 0,11 0,02 0,04 0,15 13,09 98,84 7,42	4123 5 2 7 23 4082	23 23		7 7		2 2 4		3 4		1:0,980 1,66 (Pb)	Розас, Сардиния, анал. Риматори (Rimatori, 1903); Zn и Fe считает за счет сфалерита; другие определения Bi дали 0,25 и 0,17%
174	Pb Bi S PbO CO ₂ С у м м а	86,22 0,08 13,37 [0,24] [0,05] 99,96	4161 4 4170 11 11							4 6		1:1,001 0,01 (S) Σ* 1:0,999 0,12 (Pb)	Верхняя Квайса, анал. В. М. Сендерова (Нестерова, 1958). Среднезернистый, следы железа
[175]	Pb Bi Ag Fe	86,9 0,067 0,035 0,12	4194 3 3 21			21		3 3				1:0,992 0,66 (Pb)	Риддер, анал. Шустер и Поток (Вейц, Покровская, 1957). Крупнозернистый

	Mo S Se Te Sb С у м м а Плотность	0,014 13,5 0,126 0,005 0,009 100,776 7,50	4210 16 1		42		6						
176	Pb Bi Ag Fe S Sb SiO ₂ O С у м м а Плотность	85,39 0,06 0,06 0,23 13,34 0,04 0,52 [0,06] 99,70 7,42	4121 3 6 41 4160 3 38		41		3 3 6	3		4 3		1:0,997 0,29 (Pb)	Гранитогорск, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Тонкозернистый из кварцевой жилы
177	Pb Bi Ag Fe S Sb С у м м а Плотность	85,80 0,06 0,23 0,03 13,87 0,02 100,01 7,541	4141 3 21 5 4325 2		5 10			21 10		3 8 2		1:1,038 0,51 (S)	Садон, анал. Т. Л. Покровская (Нестерова, 1958). Крушнокристаллический, следы Си, Mn
[178]	Pb Bi Ag Fe S С у м м а Плотность	86,22 0,06 0,12 0,01 13,96 100,37 7,668	4161 3 11 4354				3 3 6	8 4				1:1,044 0,59 (S)	То же, что ан. 177, следы Си

*Если в анализе указаны PbO или другие соединения свинца, не определявшиеся непосредственно, то дается также отношение суммарного свинца к оставшейся после пересчета сере, что во всех случаях обозначено (Σ).

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. коллич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	Ag ₂ BiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; Избыток Pb или S в вес. %	Замечания
179	Pb Bi Ag S Sb Сумма Плотность	86,9 0,059 0,061 13,5 0,0093 100,53 7,57	4194 3 6 4210 1					3 3 6	23			1:1,001	Петровское месторождение, анал. Шустер (Вейц, Покровская, 1957). Среднезернистый
[180]	Pb Bi Ag Cu Fe Zn S Sb Сумма Плотность	85,8 0,05 0,02 0,03 0,03 0,9 13,5 0,02 100,35 7,10	4141 2 2 5 5 138 4210 2	138 138			5 5 10	2 2 4		3 2		1:0,972 1,78 (Pb)	Золотушинское месторождение, анал. Максимова (Вейц, Покровская, 1957). Среднезернистый с сфалеритом
(181)	Pb Bi Ag S Sb As Нер. ост. Сумма	85,33 0,03 0,05 13,21 0,05 0,04 1,24 99,95	4118 1 5 4120 4 5					1 1 2		14 4 5	4 6	1:1,005 0,06 (S)	Баянское месторождение (Эфендиев, 1957)

[182]	Pb Bi Ag Fe Zn S Sb С у м м а Плотность	86,5 0,02 0,11 0,06 0,02 13,3 0,02 100,03 7,03	4174 1 10 11 3 4148 2	3 3	11 11	1 1	9 4	3 2	1:0,988 1,02 (Pb)	Греховское месторождение, анал. Максимова (Вейц, Покровская, 1957). Крупнозернистый, медь не обнаружена
[183]	Pb Bi Ag Fe Zn Mo S Se Te С у м м а Плотность	86,2 0,01 0,02 0,05 0,8 0,002 13,2 0,08 0,008 100,37 7,10	4160 1 2 9 122 4116 10	122 122	9 9	1 1	2	1:0,960 3,42 (Pb)	Березовское месторождение, анал. Максимова (Вейц, Покровская, 1957). Тонкозернистый с сфалеритом	
[184]	Pb Bi Ag Cu Fe Zn S Sb MgO BaO SO ₃ SiO ₂ С у м м а Плотность	85,10 0,01 0,04 0,25 0,20 0,02 13,43 0,04 0,19 0,04 0,02 0,82 100,16 7,333	4107 — 4 39 36 3 4188	3 3	39 36 75	4	2	1:1,000	Гранитогорск, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Тонкозернистый из кварцевой жилы; А. А. Филимоновой установлен в ассоциации вольфсбергит; следы Mn	

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	Ag ₂ Bi ₂ S ₃	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[185]	Pb Bi Cu Fe S Нер. ост. С у м м а	84,09 0,01 0,05 0,33 12,51 0,12 97,11	4058 — 8 59 3901 —			51 102	8 8 16					1:0,932 8,82 (Pb)	Южная Дарбаза, анал. В. Е. Кутейников (Арапов, 1936). По спектральному ан.: Ag — сильные линии, Sb — выше средних, Sn, Ni — слабые, Mg, Zn — Cd, In, Ga — нет. Ассоциирует с сфалеритом, пиритом, тетраэдритом, пруститом, полибазитом, халькопиритом. Следы Zn
186	Pb Bi Cu Fe Zn S Нер. ост. С у м м а	85,25 0,01 0,07 0,40 0,18 13,69 0,16 99,76	4114 — 11 72 28 4269 —	28 28		61 122	11 11 22					1:0,996 0,35 (Pb)	Кансай, анал. В. Е. Кутейников (Арапов, 1936). По спектральному ан.: Ag — сильные, Sb — средние, Sn, Ni, As — слабые, Ga — 0,1%, Mn, Cd, In — нет. Тесно ассоциирует с сфалеритом и халькопиритом
[187]	Pb Bi Cu Ag Fe Zn S Sb С у м м а Плотность	84,8 Меньше 0,01 0,13 0,06 0,16 0,7 13,5 0,04 99,40 7,10	4092 20 5 29 107 4210 3	107 107		9 9	20 20 40			4 3		1:0,990 0,87 (Pb)	То же, что ан. 183; с халькопиритом и сфалеритом, Mo — 0,001%

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[192]	Pb Cu Ag Fe Zn S Sb С у м м а Плотность	72,90 1,11 0,72 1,77 1,33 15,62 5,77 99,22 6,932	3507 175 67 317 203 4871 474	203 203	142	142	175 175 350		67 34	711 474		1:0,978 1,57 (Pb)	Боттино, Италия, анал. Бечи (Becchi, 1862). Кристаллы «таргионита»
[193]	Pb Cu Ag Fe S Sb С у м м а	72,44 4,25 0,65 1,85 16,78 4,31 100,28	3496 669 60 331 5233 354				331 331 662		338 60 199	531 354		1:1,099 1,11 (S)	Боттино, Италия, анал. Е. Бечи (Becchi, 1862); плотный «таргионит» в зернистом кальците
[194]	Pb Ag Fe S Sb С у м м а	78,29 0,56 2,81 15,50 2,45 99,61	3778 52 503 4834 201			503 1503			52 26	302 201		1:1,060 0,72 (S)	Боттино, Италия, анал. Е. Бечи (Becchi, 1862). Мелкозернистый «таргионит»
[195]	Pb Ag Fe	78,24 0,49 1,83	3776 45 328			328			45			1:1,021 0,25 (S)	То же, что предыдущий; следы Cu

	S Sb С у м м а	15,24 4,43 100,23	4753 364			328			24	546 361		
(196)	Pb Ag Fe Zn S С у м м а Плотность	84,56 0,39 0,48 1,08 13,67 100,18 7,465	4081 36 86 165 4263 165	165 165		86 86			36 18		1:0,979 1,76 (Pb)	Готтесгабе, Бавария, анал. Тиль (Thiel, 1894). Крупнотаблитчатый
[197]	Pb Cu Ag S С у м м а Плотность	86,023 0,199 0,359 13,286 99,867 7,34	4151 31 33 4144						31 33 32		1:0,991 0,81 (Pb)	Зыряновское месторождение по Мамонтову (Пилипенко, 1915)
[198]	Pb Cu Ag Fe Zn S Sb С у м м а	80,70 0,44 0,32 1,38 0,02 12,84 3,31 99,01	3894 69 30 247 3 4004 272	3 3		247 247			60 30 50	408 272	1:0,846 12,39 (Pb)	Боттино, Италия, анал. Бечи (Becchi, 1852). Грубозернистый
199	Pb Ag S Sb SiO ₂ С у м м а	85,35 0,27 13,54 0,33 0,40 99,89	4119 25 4222 27						25 12	41 27	1:1,012 0,16 (S)	Кадая, Восточное Забайкалье, анал. П. Н. Ниссенбаум (Нестерова, 1958)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₄	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[200]	Pb Cu Ag Zn S Sb С у м м а Плотность	84,35 0,05 0,26 0,47 14,59 0,66 100,38 7,69	4071 8 24 72 4550 54	72 72					8 24 16			1:1,076 0,99 (S)	Зырянское месторождение, anal. Реброва (Вейц, Покровская, 1957). Крупнозернистые гнезда в сплошной руде; следы висмута
[201]	Pb Cu Ag Fe S Sb Cd Sn CaO MgO SiO ₂ PbO CO ₂ O С у м м а Плотность	82,40 0,10 0,26 0,07 13,02 0,32 0,02 0,10 0,20 0,13 0,45 [2,86] [0,56] [0,01] 100,50 7,31	3977 16 24 12 4060 26 2 8				12 24		24 12		39 26	1:1,002 0,02 (S) (Σ) 1:0,903 2,53 (Pb)	Благodatское месторождение, Восточное Забайкалье, anal. Ю. С. Нестерова (1958). Среднезернистый из зоны окисления
202	Pb Ag Zn	85,18 0,25 0,36	4111 23 55	55					23			1:0,994	То же, что предыдущий

202	S Sb Sn SiO ₂ O С у м м а	13,67 0,30 0,16 0,16 [0,042] 100,12	4191 25	55				12	37 25		0,50 (Pb)	
203	Pb Ag Zn Sn S Sb SiO ₂ O С у м м а	84,48 0,23 0,33 0,15 13,62 0,33 0,30 [0,042] 99,48	4077 21 50	50				21			1:1,017 0,14 (S)	То же, что ан. 199
[204]	Pb Cu Ag Fe S Sb SiO ₂ С у м м а	78,49 1,21 0,225 1,54 12,43 0,14 5,15 99,48	3788 190 21 276 3876 11				190 86 86 190 300	21 10			1:0,894 8,35 (Pb)	Кзыл-Эспе, Казахская ССР (Алявдин, Бетехтин, 1940). Руда, почти нацело состоящая из галенита
[205]	Pb Bi Ag Fe Zn S Sb SiO ₂ CaO MgO PbO CO ₂ O С у м м а Плотность	84,37 1,001 0,21 0,02 0,07 13,16 0,20 0,05 0,02 0,12 [2,05] [0,40] [0,026] 100,70 7,468	4072 19 4 11 4104 16	11 11		4 4		19 10			1:0,996 0,35 (Pb) (Σ) 1:0,974 2,23 (Pb)	Кадая, Восточное Забайкалье, анал. П. Н. Ниссенбаум (Нестерова, 1958). Крупнокристаллический из сплошной руды; следы кадмия

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S: избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[206]	Pb	85,25	4114									1:1,001 0,01 (S) (Σ) 1:0,988 1,04 (Pb)	Смирновское месторождение, Восточное Забайкалье, anal. Ю. С. Нестерова (1958). Крупнокристаллический из сплошной руды; следы теллура
	Ag	0,21	19					19					
	Cu	0,05	8				5	3					
	Fe	0,03	5				5						
	Sn	0,14	12										
	S	13,31	4150				10	11		12			
	Sb	0,10	8							8			
	Al (?)	0,10											
	SiO ₂	0,02											
	CaO	0,08											
	MgO	0,11											
	PbO	[0,99]											
	CO ₂	[0,21]											
	O	[0,03]											
С у м м а	100,63												
Плотность	7,55												
207	Pb	85,45	4124									1:1,007 0,10 (S)	То же, что ан. 199
	Ag	0,20	18					18					
	Sn	0,07	6										
	S	13,48	4204					9		41			
	Sb	0,33	27							27			
	SiO ₂	0,46											
	O	[0,02]											
	С у м м а	100,01											
[208]	Pb	81,5	3933									1:0,976 1,93 (Pb)	Зыряновское месторождение; из работы Абрамова, Балашиовой, 1939 г. (Вейц, Покровская, 1957). Se — 0,0008, Te — 0,0007
	Cu	2,5	393					393					
	Ag	0,2	18					18					
	S	13,0	4054					206			8		

[208]	Sb С у м м а	0,14 97,3415	11								11		
[209]	Pb Cu Ag Zn S Sb С у м м а	84,21 0,28 0,15 2,07 13,78 0,12 100,61	4064 44 14 317 4297 10	317 317				44 14 29		15 10		1:0,968 2,65 (Pb)	То же, что ап. 208
210	Pb Ag S SiO ₂ С у м м а	85,95 0,15 13,44 0,56 100,10	4148 14 4191					14 7				1:1,009 0,12 (S)	Кзыл-Эспе, анал. П. Н. Инсенбаум (Нестерова, 1958). Из рудного тела
[211]	Pb Ag Mn Fe S С у м м а Плотность	83,52 0,14 1,20 0,83 13,80 99,49 7,11	4031 13 218 149 4304	(MnS) 218 218			149 149		13 6			1:0,975 2,07 (Pb)	Хартенрод, Гессен-Нассау, анал. Т. Ландманн (Landmann, 1854)
[212]	Pb Ag Cu Fe S С у м м а Плотность	85,0 0,14 0,01 0,68 14,3 100,13 6,97	4102 13 2 122 4460				120 240		2 2 4			1:1,026 0,32 (S)	Центральный Гульнад, анал. Т. Л. Шустер (Газизова, 1962), Следы мышьяка
213	Pb Ag Fe S	86,2 0,14 0,1 13,6	4160 13 18 4241				18 36		13 6		9	1:1,018 0,19 (S)	Золотушниковское месторождение, анал. Шустер (Вейц, Покровская,

№ анализа	Компоненты	Вес. %	АТОМН. КОЭФФ.	ZnS	FeAgS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S: избыток Pb или S в вес. %	Замечания
213	Se Te Sb С у м м а	0,092 0,06 0,072 100,264	12 5 6							6			1957). Крупнозернистый галенит из гнезда крупнозернистых сульфидов; следы Mo
214	Pb Cu Ag S Sb Mn SiO ₂ С у м м а Плотность	85,57 0,13 0,13 13,99 0,06 0,15 0,17 100,20 7,55	4130 20 12 4363 5					20 12 16		8 5		1:1,051 0,67 (S)	Чудесная ямка, анал. П. П. Пилипенко (1915). Крупнозернистый; следы Fe, Zn
215	Pb Ag Bi S С у м м а Плотность	85,92 0,12 0,001 13,83 99,87 7,49	4146 11 4313					11 6				1:1,039 0,52 (S)	Верхний Згид, анал. Т. Л. Покровская (Нестерова, 1958). Из руды; следы золота
[216]	Pb Ag S Se Te Sb С у м м а Плотность	86,60 0,12 13,56 0,007 0,0003 0,08 100,36 7,05—7,2	4179 11 4232 6					11 6		9 6		1:1,009	Зырянское месторождение, анал. Шустер, Реброва (Вейц, Покровская, 1957). Сера, свинец, сурьма — среднее из двух определений, висмут не обнаружен

[217]	Pb Ag Fe S Sb С у м м а Плотность	86,6 0,11 0,06 13,5 0,07 100,34 7,3	4179 10 11 4210 6		11 22			10 5	9 6	1:0,999	Заводинское месторождение, анал. Зайцева (Вейц, Покровская, 1957). Крупнозернистый массивный, следы Си; селен и теллур не обнаружены
[218]	Pb Ag Fe Zn S Sb С у м м а Плотность	85,5 0,1 0,2 0,28 13,7 0,014 99,79 7,12	4126 9 36 43 4272 1	43 43	36 72			9 4		1:1,006	Комиссаровское месторождение, анал. Шустер (Вейц, Покровская, 1957). Мелко- и среднезернистый из гнезд среди окисленных минералов с вкрапленностью пирита и сфалерита; селен и теллур не обнаружены; следы Мо
219	Pb Cu Ag S С у м м а Плотность	86,5 0,10 0,08 13,5 100,18 7,53	4174 16 7 4210					16 7 12		1:1,006	Крюковское месторождение, анал. Зайцева (Вейц, Покровская, 1957). Мелкозернистый, следы Fe, висмут не обнаружен
220	Pb Ag Cu Fe S Sb SO ₃ SiO ₂ CaO MgO BaO С у м м а Плотность	85,95 0,10 0,05 0,04 13,36 0,006 0,10 0,19 0,12 0,07 0,07 100,06 7,51	4148 9 8 7 4251		8 7 15			9 4		1:1,020 0,27 (S)	Кап, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной жилы, следы Zn, Ca, Bi

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S : избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[221]	Pb Ag S Гор. пор. С у м м а	82,10 0,055 12,06 5,88 100,09	3962 5 3761						5 2			1:0,949 4,21 (Pb)	Булъ-Теке, Киргизская ССР, анал. А. К. Голозов (Штейнвальд, 1935). С пиритом и халькопиритом, сумма в первоисточнике 99,951
[222]	Pb Ag Cu Fe Zn Cd S Sb SO ₃ SiO ₂ MgO BaO С у м м а Плотность	79,67 0,05 0,03 0,22 2,96 0,02 14,09 0,006 0,07 2,96 0,06 0,14 100,28 6,763	3845 5 5 39 453 4394	453 453		39 78			5 5 5			1:1,003 0,04 (S)	Лашкерек. Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной жилы, следы Bi; часто с тетраэдри- том (согласно А. А. Филимонова)
223	Pb Ag Cu Fe Zn S Sb SiO ₂ PbO CO ₂	85,62 0,05 0,01 0,22 0,01 13,28 0,02 0,36 10,04 10,01	4132 5 2 39 2 4141 2	2 2		39 39			5 2 4	3 2		1:0,990 0,81 (Pb) (Σ) 1:0,990 0,85 (Pb)	Эски-кап, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной зоны, следы Mn

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. коллич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
(228)	Pb Ag S As Sb Нер. ост. С у м м а	85,03 0,04 12,93 0,03 0,04 1,93 100,00	4103 4 4032 4 3						4 2	10 4 3		1:0,980 1,72 (Pb)	Мехманинское месторождение, Закавказье (Эфендиев, 1957). Мелкозернистый, висмут не обнаружен, в первоисточнике сумма — 99,99
(229)	Pb Ag Cu Fe S SO ₃ SiO ₂ CaO MgO BaO PbO CO ₂ С у м м а Плотность	84,39 0,04 0,13 0,07 13,15 0,02 1,63 0,03 0,13 0,04 [0,71] [0,14] 100,48 7,292	4073 4 20 12 4101			12 12 24			4 8 6			1:1,000 (Σ) 1:0,992 0,70 (Pb)	Чолок-Терек, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Крупнокристаллический из кварцевой жилы, следы Zn, Cd, Bi
(230)	Pb Ag Cu Fe Zn S Sb	85,27 0,04 0,10 0,04 0,11 13,31 0,01	4115 4 16 7 17 4151	17 17			7 7 14		4 9 8			1:0,999 0,06 (Pb) (Σ) 1:0,998 0,12 (Pb)	Наугарзан, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной жилы, следы Bi

	SO ₃ SiO ₂ CaO MgO BaO PbO CO ₂ С у м м а Плотность	0,05 0,18 0,19 0,09 0,09 [0,13] [0,026] 99,64 7,439																		
231	Pb Ag Fe S Sb SiO ₂ PbO CO ₂ O С у м м а	85,73 0,04 0,38 13,28 0,03 0,75 [0,09] [0,018] [0,163] 100,48	4137 4 68 4141 3			68 136			4 2		4 3			1:0,991 0,74 (Pb) (Σ) 1:0,966 2,94 (Pb)	Беркутуя-сай, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной жилы; следы Mn					
[232]	Pb Ag S С у м м а Плотность	86,2 0,04 13,6 99,84 7,45	4160 4 4241						4 2					1:1,019 0,25 (S)	Южный Гульшад, анал. Р. И. Зайцева (Газизова, 1962)					
233	Pb Ag Cu Fe Zn S Sb SiO ₂ С у м м а	86,45 0,04 0,03 0,10 0,02 13,48 0,02 0,33 100,47	4172 4 5 18 3 4204 2	3 3		13 26	5 5 10		4 2		3 2			1:0,998 0,02 (Pb)	Кок-Тюбе, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной зоны					

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. коэфф.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₃	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[234]	Pb Ag Cu Fe S SO ₃ SiO ₂ PbO С у м м а	74,72 0,03 0,32 0,05 11,79 3,59 0,39 [9,81] 100,63	3606 3 50 9 3677 440 [439]				9 9 18		3 41 22			1:1,008 0,10 (S)	Гудас. Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из кварцевой жилы
[235]	Pb Ag Co S С у м м а	86,05 0,03 0,01 13,33 99,42	4153 3 2 4157									1:1,001	Дашкесан, Северный участок (Эфендиев, 1957). Следы селена, теллур не определялся
(236)	Pb Ag S Sb SiO ₂ С у м м а Плотность	85,3 0,03 13,25 0,018 1,50 100,10 7,30	4116 3 4132 2						3 2	3 2		1:1,003	Заводинское месторождение, анал. Зайцева (Вейц, Покровская, 1957). Мелкозернистый из сплошной руды, следы Cu, Fe, Bi, Se, Te не обнаружены
[237]	Pb Ag S Sb Нер. ост. С у м м а	85,16 0,03 13,03 0,01 1,05 99,28	4110 3 4063 1									1:0,989 1,04 (Pb)	Мехманинское месторождение (Эфендиев, 1957). Крупнозернистый, висмут не обнаружен

[238]	Pb Ag Fe Mo S Se Te SiO ₂ С у м м а	86,9 0,03 0,14 0,003 13,31 0,024 0,01 0,47 100,88	4194 3 25 4151 3 1									3 2			1:0,983 1,45 (Pb)	* Сокольное месторождение, анал. Шустер, Реброва (Вейц, Покровская, 1957). Крупнозернистый, следы Sb, Bi, медь не обнаружена
[239]	Pb Ag Cu S С у м м а	83,75 0,027 0,45 15,13 99,36	4042 3 71 4718									3 71 37			1:1,158 2,05 (S)	Лебедевая гора, Сегозерский район (Алявдин, Бетехтин, 1940)
[240]	Pb Ag S SiO ₂ R ₂ O ₃ CaO CO ₂ Влага (105°) С у м м а	82,51 0,0236 11,65 0,11 0,64 0,73 2,84 0,4 98,54	3982 2 3633 130 645	(Ca CO ₃) 130 130			515 515					2 1			1:1,048 0,53 (S)	Эмель, Киргизская ССР, анал. В. П. Вревская (Федорович, Штейн-ванд, 1935; Прокопенко, 1935). Мелкокристаллический с церусситом, следы Au; Zn, Cd, Bi не обнаружены, сумма при PbCO ₃ больше на 0,82% (кислород) и равна 99,36%
[241]	Pb Ag S SiO ₂ R ₂ O ₃ CaO CO ₂ С у м м а	83,01 0,0232 11,85 0,16 0,53 1,01 2,83 99,41	4006 2 3696 180 643	(Ca CO ₃) 180 180			463 463					2 1			1:1,043 0,49 (S)	Ак-Куль, Киргизская ССР, анал. В. П. Вревская (Прокопенко, 1935). С халькопиритом, пиритом, церусситом, халькозином, лимонитом, малахитом, следы Au; Bi, Zn, Cd, влага (105°) не обнаружены, сумма при PbCO ₃ больше на 0,74% и равна 100,15%
[242]	Pb As Zn S Se	85,8 0,02 0,21 13,25 0,09	4141 2 32 4132 11									2 1			1:0,992 0,64 (Pb)	Лазурское месторождение, анал. Поток, Зайцева (Вейц, Покровская, 1957). Мелкозернистый, следы Bi, Cu, Fe, Te

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeAgS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
	С у м м а Плотность	99,37 7,25											
243	Pb Ag S Se Sb С у м м а Плотность	86,5 0,017 13,9 0,025 0,012 100,45 7,57	4174 2 4335 3 1									1:1,038 0,52 (S)	Змеиногорское месторождение, анал. Шустер, Поток (Вейц, Покровская, 1957). Крупнозернистый, следы Bi, Te; Mo не обнаружены
(244)	Pb Ag S SiO ₂ R ₂ O ₃ CaO CO ₂ Влага (105°) С у м м а	79,01 0,0121 11,67 6,01 2,01 0,34 1,38 0,01 100,44	3813 1 3639 61 314	(Ca CO ₃) 61 61		253 (Pb CO ₃) 253						1:1,022 0,25 (S)	Эмель, Киргизская ССР, анал. В. П. Вревская (Прокопенко, 1935; Федорович, Штейнванд, 1935). Крупнокристаллический с церусситом, следы Au; Bi, Zn, Cd не обнаружены, У авторов сумма 100,41! При PbCO ₃ сумма больше на 0,40% (кислород) и равна 100,84%
[245]	Pb Ag Cu Fe Zn Cd S Sb SO ₃ SiO ₂	76,88 0,02 0,05 0,17 6,03 0,02 14,92 0,03 0,03 0,29	3710 2 8 30 922 2 4653 2 4			22 22	8 8		2 1		3 2	1:0,994 0,44 (Pb) (Σ) 1:0,983 1,30 (Pb)	Кан, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Тонкозернистый, следы Bi

	CaO MgO BaO PbO CO ₂ O С у м м а Плотность	0,10 0,10 0,06 [0,94] [0,185] [0,053] 99,88 6,91											
246	Pb Ag Cu Fe Zn S Sb SiO ₂ CaO MgO PbO CO ₂ С у м м а	85,60 0,02 0,06 0,03 0,008 13,30 0,06 0,05 0,11 0,19 [0,80] [0,16] 100,39	4131 2 9 5 4148 5				5 5	2 4				1:0,999 0,08 (Pb) (Σ) 1.0,990 0,83 (Pb)	Гавасай, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной зоны, следы Bi, Mn
[247]	Pb Ag S As Sb Нер. ост. С у м м а	84,98 0,01 12,85 0,02 0,02 1,21 99,09	4072 1 4007 3 2							8 3 2		1:0,982 1,51 (Pb)	Бадакхидское месторождение, Закавказье (Эфендиев, 1957). Висмут не обнаружен
[248]	Pb Ag Cu Fe S SO ₃ SiO ₂ CaO BaO PbO С у м м а	74,01 0,01 2,89 0,03 12,68 2,38 0,83 0,04 0,04 [6,15] 99,06	3572 1 455 5 3954 297 7 3 275	(Ca, Ba) SO ₄	(Pb SO ₄)		5 5 10	450 250				1:1,034 0,39 (S)	Гудас, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из баритовой жилы

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.								Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания	
				ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag)As	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃			Bi ₂ S ₃
249	Pb	85,92	4146	(Pb	45							1:0,997 0,27 (Pb)	Кара-о-тек, Средняя Азия, анализ Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной зоны, следы Mn
	Ag	0,01	1	CO ₃)	(PbO)								
	Fe	0,17	30			30						(Σ) 1:0,982 1,55 (Pb)	
	Zn	0,01											
	S	13,30	4148			60							
	SiO ₂	0,36											
	PbO	[0,38]	17	17									
	CO ₂	[0,075]	17	17									
	O	[0,072]	45		45								
	С у м м а	100,30											
250	Pb	85,90	4146									1:0,986 1,18 (Pb)	Северо-Восток СССР, анализ Шадская (Бабкин, Рожков, 1961). Следы Mn, As, Se: висмут не обнаружен
	Ag	0,01											
	Cu	0,03	5				5						
	Fe	0,08	14			9	5						
	Zn	0,15	23	23									
	S	13,42	4185	23		18	10				45		
	Sb	0,37	30								30		
	Нер. ост.	0,20											
	С у м м а	100,15											
[251]	Pb	85,9	4145									1:1,031 0,41 (S)	Лазурское месторождение, анализ Поток, Зайцева (Вейц, Покровская, 1957), следы Bi, Mo
	Ag	0,0087											
	S	13,7	4272										
	Sb	0,005											
	Va	0,094											
	С у м м а	99,71											
	Плотность	7,44											

Галенит, не содержащий ни висмута, ни серебра

161	[252]	Pb Fe Mn S As Sb SO ₃ CO ₂ SiO ₂ Fe ₂ O ₃ CaO MgO BaO PbO С у м м а	26,65 0,35 0,17 4,33 0,47 0,01 0,25 1,21 22,65 18,90 21,84 0,77 0,06 [2,25] 99,81	1286 63 31 1350 63 31 275		63 63							1:1,000 (Σ) 1:0,928 2,07 (Pb)	Гавасай, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из рудной зоны с гранатом
	[253]	Pb Zn Fe S С у м м а	26,86 44,50 0,83 27,76 100,00	1292 6806 158 8657	6806		158 316						1:1,188 0,78 (S)	Подероза, Дос де Майо, Перу, анал. А. Раймонди (Raiondj, 1878). Голубовато-серая плотная разновидность «гуасколита»
	[254]	Pb Zn S Нер. ост. С у м м а	48,6 25,6 19,2 3,1 96,5	2345 3916 5988	3916 3916								1:0,884 5,66 (Pb)	Ингахуаз, Гуаско, Чили, анал. Домейко (Domejko, 1879). «Гуасколит». Если избыток Pb связать в PbCO ₃ , то сумма составит 98,14%, а в PbSO ₄ — 99,12%
	[255]	Pb Cu Fe Zn S SO ₃ SiO ₂ CaO MgO BaO PbO С у м м а	52,50 1,54 0,15 0,02 9,25 9,81 0,98 0,12 0,14 2,82 [22,77] 100,10	2534 242 27 3 2885 1225		3 3	(Ba SO ₄) 184	(Pb SO ₄) 1020	27 27 54		215 208		1:1,034 0,28 (S)	Кульджабашат, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). В смеси с баритом и англезитом, следы Mn

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₃	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[256]	Pb Zn Fe ₂ O ₃ MgO MnO SnO ₂ S Sb SiO ₂ SnO ₂ С у м м а	55,69 0,07 0,07 0,16 0,24 0,21 8,67 0,06 0,00 32,25 97,42	2688 11 2704 5 Нер. ост.	11 11						∞ ст		1:0,999 0,06 (Pb)	Синанча, Приморский край, анал. Ю. С. Нестерова (Радкевич, 1959). Кислотная вытяжка продукта распада тиллита
[257]	Pb Zn Fe S С у м м а Плотность	62,17 16,59 1,72 18,28 98,76 6,46—6,57	3000 2537 308 5701	2537 2537		308 616						1:0,849 9,36 (Pb)	Тусту, Яули, Перу, анал. Л. Пфлюкер (Ruso, 1883). Группа стабильно-серых кристаллов; при пересчете избытка Pb на PbCO ₃ , PbSO ₄ и PbO сумма составит соответственно 99,57, 100,06 и 99,48%
[258]	Pb Fe S Sb С у м м а Плотность	63,89 6,30 17,51 9,69 97,39 7,22	3073 1128 5461 796			1128 1128				1194 796		1:1,021 0,21 (S)	Сьера Аль Магрера, Испания, анал. Ф. Сорио (Navarro, 1895). Тетрагональные свинцово-серые кристаллы «квирогита»
[259]	Pb Cu Fe S	75,88 0,11 0,42 12,63	3662 17 75 3939			58 116	17 17 34					1:1,035 0,41 (S)	Гудас, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из кварцевой жилы

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAgS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
(264)	Pb Zn S С у м м а Плотность	81,80 3,59 14,41 99,80 7,252	3948 549 4494	549 549								1:0,999 0,06 (Pb)	Пишибрам, ЧССР, анализ Дж. У. Лерх (Lerch, 1843)
[265]	Pb S As Sb С у м м а	81,87 13,61 0,90 2,30 98,68	3951 4244 120 189							463 120 189		1:0,957 3,52 (Pb)	Войслох, Гельдерберг, анализ Зайдель (Sandberger, 1864)
(266)	Pb Zn Fe S SiO ₂ С у м м а	82,00 2,10 0,38 14,50 0,53 99,51	3957 321 68 4522	321 321		68 68						1:1,027 0,22 (S)	Сулейман-Сай, Казахская ССР (Алявдин, Бетехтин, 1940). Мо — 0,003%
[267]	Pb Cu Fe Zn Cd S Sb Нер. ост. С у м м а	82,75 0,43 0,25 0,98 0,02 13,14 0,25 2,07 99,89	3993 68 45 150 2 4098 20	152- 152			45 45 90		23 12		30 20	1:0,958 3,71 (Pb)	Чирагидзор (Эфендиев, 1957). С халькопиритом и сфалеритом; висмут не обнаружен; в первоисточнике сумма — 99,88; по спектральным данным: Cu, Ag — интенсивные линии, As, Bi — слабые; Co — 0,01%

(268)	Pb Cu Fe Zn S SiO ₂ С у м м а Плотность	83,47 0,34 0,14 1,10 14,21 0,90 100,16 7,30	4028 53 25 168 4431 168	168									1:1,042 0,55 (S)	Заводинское месторождение, анал. П. П. Пилипенко (1915). Мелкозернистый
(269)	Pb Zn S С у м м а Плотность	83,61 2,18 14,18 99,97 7,324	4035 333 4422	333 333									1:1,013 0,17 (S)	Пшибрам, ЧССР, анал. Дж. У. Лерх (Lerch, 1843)
[270]	Pb Cu Fe S Sb As SiO ₂ PbO CO ₂ С у м м а Плотность	83,73 0,06 0,42 13,30 0,17 0,41 0,33 [1,45] [0,285] 100,15 7,58	4041 9 75 4148 14 55	55 55	11 22	9 9 18							1:1,003 0,04 (S) (Σ) 1:0,987 1,10 (Pb)	Кафан (Зангезур), анал. А. А. Петросян (Нестерова, 1958). Следы Zn, Bi
[271]	Pb Cu Fe Zn S Sb SO ₃ SiO ₂ CaO MgO BaO PbO CO ₂ С у м м а Плотность	83,97 0,06 0,03 0,17 13,12 0,01 0,01 0,15 0,17 0,05 0,03 [2,34] [0,46] 100,58 7,825	4052 9 5 26 4092 26	26 26		5 5 10	4 2						1:1,000 (Σ) 1:0,975 2,15 (Pb)	Нокунж, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Следы Bi, Cd — 0,008

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замеч а
[272]	Pb Zn Fe S С у м м а	84,15 0,27 1,41 14,01 99,84	4061 41 252 4369	41 41		252 504						1:0,942 4,91 (Pb)	с. Мыслиборы, Подолья, анал. Е. П. Фурман (1953); с сфалеритом, пиритом, халькопиритом; для образования PbO из 4,91% Pb требуется 0,40% O, тогда сумма составит 100,24%
(273)	Pb Sn Fe Zn Cd S Sb SO ₃ SiO ₂ CaO MgO BaO PbO CO ₂ С у м м а	84,29 0,08 0,06 0,27 0,02 13,26 0,01 0,03 0,88 0,31 0,16 0,05 [0,44] [0,088] 99,95	4068 12 11 41 2 4135	41 2 43			12 11 23					1:1,000 (Σ) 1:0,995 0,41 (Pb)	Гавасай, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Крупнокристаллический; из скарнового рудного тела; следы Bi
[274]	Pb S Sn (сульф.) Sn (окисл.) С у м м а	84,60 13,6 0,05 0,1 98,35	4083 4241 4									1:1,037 0,48 (S)	Ново-Монастырское месторождение (Радкевич и др., 1960). По неизвестным причинам назван галенобисмутитом (очевидно, опечатка)

[275]	Pb Zn Fe S С у м м а	84,62 0,40 1,09 14,03 100,14	4084 61 195 4375	61 61								1:0,961 3,32 (Pb)	с. Тимково, Подолня, анал. Е. П. Фурман (1953). С сфалеритом, халькопиритом, пиритом; при пересчете избытка Pb на PbO требуется 0,26% O, тогда сумма составит 100,40%
[276]	Pb Cu Zn S Sb Нер. ост. С у м м а	84,99 0,20 0,80 13,60 0,016 0,42 100,01	4102 31 122 4241	122 122				31 16				1:1,000	Успенское месторождение, анал. А. Я. Машуков, А. Н. Литвинович, 1949 г. (Вейц, Покровская, 1957). Mo — 0,006%
[277]	Pb Zn Fe S С у м м а	85,17 0,47 1,24 14,00 100,88	4110 72 222 4366	72 72							222 444	1:0,937 5,39 (Pb)	с. Миньковцы, Подолня, анал. Е. П. Фурман (1953). С сфалеритом, халькопиритом, пиритом. При пересчете избытка Pb на PbO требуется 0,42% O, тогда сумма составит 101,30%
[278]	Pb Cu Fe Zn S SiO ₂ CaO MgO BaO PbO CO ₂ С у м м а Плотность	85,33 0,35 0,10 0,03 13,45 0,36 0,25 0,16 0,01 [0,02] [0,004] 100,06 7,460	4118 55 18 4 4194	4 4	18 18						37 18 18	1 : 0,06 (S)	Арсарган, Средняя Азия, анал. Ю. С. Нестерова (1958). Из кварцево-баритовой жилы; следы Mn, Sb, Bi — 0,003%

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
279	Pb Fe Zn S Sn SiO ₂ R ₂ O ₂ С у м м а	85,50 0,10 0,30 13,50 0,10 0,10 0,50 100,10	4126 18 46 4210 8	46 46		18 36						1:1,000	Раздельное, бухта Варнека, Вайгач (Алявдин, Бетехтин, 1940). В первоисточнике указана сумма 100,00%
[280]	Pb S P ₂ O ₅ SiO ₂ С у м м а	85,59 12,26 1,66 0,29 99,80	4131 3823 109	363 109 Pb ₂ · ·Cl· ·(PO ₄) ₃								1:1,014 0,18 (S)	Каутенбах, анал. Кариус (Blum, 1863), псевдоморфоза по пироморфиту, для Pb ₂ Cl(PO ₄) ₃ требуется O — 0,58% и Cl — 0,27%, тогда сумма будет равна 100,65%
281	Pb S С у м м а	85,70 14,09 99,79	4136 4394									1:1,062 0,83 (S)	Клаусталь, Гарц, анал. О. Шиллинг (Schilling, 1861)
[282]	Pb S С у м м а	85,73 13,07 98,80	4137 4076									1:0,985 1,26(Pb)	Джезказган (Сатпаева, 1949). Cu, Fe, Mo, Zn, Ag, As, Sb не обнаружены; спектральный анализ показал слабые линии Cu и Ag
283	Pb Cu Fe S Sb Нер. ост. С у м м а	85,76 0,20 0,18 13,16 0,02 0,30 99,62	4139 31 32 4104 2				31 32 63			3 2		1:0,976 2,07 (Pb)	Алтын-Топкан по В. К. Мельниченко (Жариков, 1959). С сфалеритом, халькопиритом, пиритом, магнетитом, гематитом; по первоисточнику сумма 100,06, при пересчете избытка Pb на PbCO ₃ и PbSO ₄ сумма соответственно равна 100,22 и 100,58%; следы Bi

284	Pb Fe S SiO ₂ CaO С у м м а	85,77 0,24 13,27 0,38 0,02 99,68	4139 43 4138															1:1,000 (если Fe связать в окислы)	Арпаклен, Туркменская ССР (Сидоренко, 1946). Следы Cu, Ag, Sb, SrO; BaO не обнаружен
[285]	Pb Fe S С у м м а Плотность	86,2 0,17 13,63 100,00 7,39	4160 30 4251															1:1,007 0,10 (S)	Риддер, анал. Максимова (Вейц, Покровская, 1957). Мелкозернистый, медь не обнаружена
286	Pb S As Sb Sn С у м м а	86,27 13,41 0,04 0,06 0,06 99,84	4163 4182 5 5 5	(SnS ₂) 10														1:1,001	Окр. с. Умбы, Архангельская обл., анал. И. Ковригин (Жерве, 1900). Следы Cu, Ag
287	Pb S Sb С у м м а	86,34 13,84 0,04 100,22	4167 4316 3															1:1,034 0,46 (S)	с. Есауловка (Юшко, 1948). Cu, Bi, Sn не обнаружены
[288]	Pb Fe S С у м м а Плотность	86,5 0,44 13,55 100,49 7,45	4174 79 4226															1:0,975 2,20 (Pb)	Риддер, анал. Максимова (Вейц, Покровская, 1957). Мелкозернистый; следы Sb; медь не обнаружена
289	Pb S Sb С у м м а	86,64 13,83 0,025 100,49	4181 4313 2															1:1,031 0,41 (S)	Шахта Утренняя, Нагольный кряж (Юшко, 1948). Cu, Bi, Sn не обнаружены

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	ZnS	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₃	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
290	Pb Fe S С у м м а	87,00 0,02 13,29 100,31	4199 4 4144									1:0,985 1,30 (Pb)	Подолия, хим. лаборатория ВИМСа (Малиновский, 1955). Если связать избыток Pb в PbO, требуется 0,10% O, тогда сумма составит — 100,41; спектральным анализом обнаружены примеси Cu, Ag, Mo, Bi, Sb
[291]	Pb Zn S С у м м а	87,50 1,80 10,70 100,00	4223 275 3337	275 275								1:0,725 24,06 (Pb)	Уевельбах, Пелау, анал. Гауер (Гауер, 1865)
<i>Селенсодержащий галенит (см. также ан. № 160, 164, 175, 183, 213, 216, 238, 242, 243)</i>													
(292)	Pb Cu Fe S Se SiO ₂ С у м м а Плотность	83,72 0,34 0,47 13,40 1,23 0,48 99,64 7,50	4040 53 84 4179 156			31 62	53 53 106					1:0,993 0,23 (Pb)	Зырянское месторождение, анал. П. П. Пилипенко (1915). С халькопиритом и пиритом, не содержащими селен
(293)	Pb Cu Fe S Se Нер. ост. С у м м а Плотность	82,28 1,28 0,48 12,60 1,17 2,02 99,83 7,23	3971 201 86 3929 148				86 86 172		115 58			1:0,969 2,57 (Pb)	Чудак, анал. П. П. Пилипенко (1915). Следы цинка

294	Pb Fe Zn S Se Нер. ост. С у м м а	85,59 0,08 0,40 13,04 0,50 0,14 99,75	4130 14 61 4067 63			61							1:0,982 1,76 (Pb)	Чудак, анал. П. П. Пилипенко (1915)
[295]	Pb Fe Zn S Se Нер. ост. С у м м а Плотность	85,54 0,17 0,50 12,80 0,45 0,04 99,50 7,55	4128 30 76 3992 57			76 76			30 30				1:0,955 3,83 (Pb)	То же, что ан. 293

Галениты различных месторождений Японии (Saito, 1961)

171

296	Pb Bi Ag Au Fe S С у м м а Плотность	86,18 0,03 0,0714 0,00003 0,12 13,25 99,58 7,59 ₀	4159 1 6 4132								6 3		1:0,983 1,49 (Pb)	Тотидо, 200 м. С халькопиритом и кварцем; Cd, Zn, Cu, SiO ₂ — следы; $a_0=5,935_4$	
[297]	Pb Bi Ag Au Cu Fe Cd S SiO ₂ С у м м а Плотность	83,92 0,07 0,063 0,00003 0,12 0,14 0,01 13,35 0,51 98,12 7,58 ₆	4050 3 6 4163									19 25	6 3	3 4	1:1,015 0,20 (S) Тотидо, 60 м. С кварцем; Zn — следы; $a_0=5,936_0$

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. коллич.	ZnS	FeAsS	FeS или Fe ₃ S	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[298]	Pb Bi Ag Au Fe Cd S Sb С у м м а Плотность	86,07 Сл. 0,0436 0,0002 0,13 0,01 13,15 0,02 99,38 7,59 ₂	4154 — 4 23 4101			23 46			4 2			1:0,975 2,15 (Pb)	Модзунит. С баритом; Zn, Cu, SiO ₂ — следы; a ₀ =5,936 ₀
[299]	Pb Bi Ag Cu Zn Cd Fe S Sb SiO ₂ С у м м а Плотность	84,93 0,09 0,0713 0,12 0,12 0,01 0,13 13,66 0,03 0,23 99,32 7,56 ₄	4099 4 6 19 18 23 4260 2	18 18			19 23	6 3			4 9 2	1:1,022 0,32 (S)	Накарю. С сфалеритом; Au — следы; a ₀ =5,935 ₀
300	Pb Bi Ag Cu Fe Zn	83,13 Сл. 0,1075 0,27 0,25 0,20	4012 10 42 45 31	31			42 45	10				1:1,056 0,72 (S)	Титнбу. С пиритом, халькопиритом, сфалеритом; Au — не обнаружено; a ₀ =5,935 ₆

12*

[307]	Pb	86,20	4160								1:1,008 0,11 (S)	Тара. Примесей других минералов нет; Au, Cu, Fe, Zn — следы; $a_0 = 5,935_6$
	Bi	0,02	1						1			
	Ag	0,0476	5					5				
	Cd	0,01										
	S	13,47	4201					2		4		
	Sb	0,03	2							2		
	SiO ₂	0,14										
	С у м м а	99,87										
	Плотность	7,59 ₂										

175

[308]	Pb	81,02	3910								1:0,988 0,95 (Pb)	Хикагэтаку (Амагамори). С пиритом, сфалеритом, халькопиритом; Bi — следы; $a_0 = 5,935_8$
	Ag	0,0429	4									
	Cu	0,35	55				29	55				
	Fe	0,47	84									
	Zn	0,34	52	52								
	Cd	0,03										
	S	13,13	4095	52			58	110		10		
	Sb	0,08	7							7		
	SiO ₂	1,55										
	С у м м а	97,97										
Плотность	7,59 ₃											

[309]	Pb	82,58	3985								1:1,012 0,15 (S)	Ицути. С пиритом, халькопиритом, сфалеритом; Bi, Sb — следы; $a_0 = 5,936_2$
	Ag	0,009	1									
	Cu	0,34	54					54				
	Fe	0,35	63				9	51				
	Zn	0,37	57	57								
	S	13,52	4216	57			18	108				
	SiO ₂	1,36										
	С у м м а	98,52										
	Плотность	7,59 ₃										

№ анализа	Компоненты	Вес. %	АТОМН. КОЭФ.	Zn	FeAsS	FeS или FeS ₂	CuFeS ₂	AgBiS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	Sb ₂ S ₃ или As ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Pb : S; избыток Pb или S в вес. %	Замечания
[310]	Pb	79,50	3788									1:1,011 0,14 (S)	Тапумата. С халькопиритом, сфалеритом, кварцем; $a_0=5,934_6$
	Bi	0,03	1										
	Ag	0,17	16						16				
	Cu	0,26	41				41						
	Zn	0,36	55	55									
	S	12,75	3976	55			[82]		S				
	Сумма	92,90					[41]						
	Плотность	7,58 ₂					[Fe]						
[311]	Pb	85,05	4105										Таро. С продуктами окисления; Cu, Zn, SiO ₂ — следы, Au — 0,1 г/т; $a_0=5,935_0$
	Bi	0,01	—										
	Ag	0,2048	18										
	Fe	0,12	21										
	Cd	0,01											
	S	13,44	4191										
	Сумма	98,63											
	Плотность	7,58 ₂											

Анализы, пересчитанные авторами на минералы (миналы)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Замечания	№ анализа	Компоненты	Вес. %	Замечания
312	PbS Bi ₂ S ₃ С у м м а Плотность	98,03 1,97 100,00 7,50	Хабахталь, Зальцбург, анализ Ф. Вельский (Zerhavic, 1877)	[316]	PbS Sb ₂ S ₃ С у м м а	94,19 0,73 94,92	Тартма, Киргизская ССР, анализ А. М. Попова (Полов, 1935). С халькопиритом, церусситом, малахитом, лимонитом; следы Си, Zn, Au, Ag; по спектральному анализу: Fe, Mg, Ti — слабые линии, Al, Ag — есть; Sr, Ca, Ba, Sn, Bi — нет
[313]	PbS Ag ₂ S Cu ₂ S FeS Sb ₂ S ₃ SiO ₂ CaCO ₃ С у м м а	96,14 0,09 0,15 0,30 1,99 0,53 0,01 99,21	Клаусталь, Гарц, анализ Брюель и Бодеманн (Kerl, 1860); Luedecke, 1896	[317]	PbS FeS Sb ₂ S ₃ ZnS С у м м а	95,5 3,2 2,5 Сл. 101,2	Оффенбрух, Франкеншварцер Хютте, анализ Е. Метцгер (Metzger, 1853)
[314]	PbS Ag ₂ S Cu ₂ S FeS ₂ ZnS SiO ₂ CaCO ₃ MgCO ₃ Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ С у м м а	71,19 0,04 0,41 1,00 12,76 8,14 1,43 1,74 1,04 1,62 99,37	Копрайн, Каринтия, Королевская пробирная лаборатория (Mitteregger, Brunlechner, 1884). В углистых сланцах; грубый, плотный, с включениями белого кальцита	[318]	PbS ZnS FeS Sb ₂ S ₃ С у м м а Плотность	95,85 3,34 0,54 0,30 100,03 7,532—7,557	Боквайз, Гарц, анализ К. Ф. Раммельсберг (Rammelsberg, 1849). С примесью сфалерита; селен не обнаружен
[315]	PbS FeS As ₂ S ₃ Sb ₂ S ₃ ZnS С у м м а	76,48 2,10 9,25 0,77 11,38 99,98	Пшнбрам, ЧССР, анализ Р. Шварц (Reuss, 1857). Штейнманит	[319]	PbS ZnS С у м м а	96,45 3,55 100,00	Монте Арко, Эльба, анализ Манассе (Manasse, 1912). Пластинчатый цинкородержащий галени

Химические анализы загрязненного галенита после исключения примесей
и пересчета на 100%

№ анализа	Компо- ненты	Вес. %	Атомн. колич.	Избыток Bi или S в вес. %	Плотность	Исключенные примеси, вес. %	Замечания
<i>Висмутосодержащий галенит</i>							
150	Pb Bi Ag S Sb	67,81 12,14 6,40 13,40 0,24	3272 581 593 4179 20	2,13 (Pb)	7,41	CuFeS ₂ — 0,75 FeS ₂ — 2,53 ZnS — 0,85 FeAsS — 0,21 SiO ₂ — 0,71	При связыва- нии избытка Pb в PbCO ₃ , плотность 7,44
[151]	Pb Bi Ag S	75,22 8,68 1,18 14,91	3630 415 109 4650	1,10 (Pb)		ZnS — 1,88	
[155]	Pb Bi Ag S	78,89 4,41 3,07 13,62	3807 211 284 4247	0,37 (Pb)		FeS ₂ — 0,36 MgO — 0,36 ZnS — 0,36 W — 0,72 SiO ₂ — 0,10	
160	Pb Bi S Se Te	84,38 2,02 13,40 0,14 0,06	4072 97 4179 18 5	0,00		FeS ₂ — 1,49 ZnS — 0,86 Нер. ост. — 0,65 Cu — 0,01	
163	Pb Bi Ag S Te	84,54 1,40 0,23 13,36 0,46	4080 67 21 4166 36	0,04 (S)		ZnS — 1,77 Нер. ост. — 1,30	
[165]	Pb Bi Ag S Te	84,94 1,17 0,12 13,34 0,43	4099 56 11 4160 34	0,02 (S)		ZnS — 1,43 Нер. ост. — 1,32 Растворимые при- месн — 1,42	
[168]	Pb Bi Ag S Sb	84,36 0,98 0,62 13,97 0,06	4071 47 57 4357 5	0,26 (S)		FeS ₂ — 2,04 Нер. ост. — 0,76	
[180]	Pb Bi Ag S Sb	86,7 0,05 0,02 13,2 0,02	4134 2 2 4116 2	1,55 (Pb)	7,17	CuFeS ₂ — 0,09 ZnS — 1,3	
181	Pb Bi Ag S Sb As	86,44 0,03 0,05 13,38 0,05 0,04	4172 1 5 4173 4 5	0,33 (Pb)		Нер. ост. — 1,24	

№ анализа	Компо- ненты	Вес. %	Атомн. колич.	Избыток Bi или S в вес. %	Плотность	Исключенные примеси, вес. %	Замечания
[183]	Pb Bi Ag S Sb	87,0 0,01 0,02 12,9 0,08	4199 1 2 4023 10	3,48 (Pb)	7,17	(Zn, Fe)S — 1,25	
[187]	Pb Ag S Sb	86,6 0,06 13,3 0,04	4179 5 4148 5	0,85 (Pb)	7,18	Cu, FeS ₂ — 0,37 (Zn, Fe)S — 1,13	
[188]	Pb Bi Ag S Sb	86,1 0,01 0,11 13,74 0,04	4155 1 10 4285 5	0,37 (S)	7,42	(Zn, Fe)S — 1,70 CaMg(CO ₃) ₂ — 6,21	

Серебросодержащий галенит

[189]	Pb Ag S Sb	78,43 2,32 14,40 4,85	3785 215 4491 398		6,07	FeS — 0,80 S — 20, 21 PbCO ₃ — 0,62	Если Ag и Sb пересчитать на AgSbS ₂ и Sb ₂ S ₃ , то плотность составит 6,20
190	Pb Ag S	85,98 0,82 13,20	4149 76 4116	1,47 (Pb)		Нер. ост. — 3,80	
191	Pb Ag S Sb	84,72 0,75 13,61 0,92	4188 69 4244 76	0,02 (S)		FeS ₂ — 0,49 Нер. ост. — 1,78	
[192]	Pb Ag S Sb	78,56 0,78 14,44 6,22	3791 72 4503 511	1,86 (Pb)	7,26	ZnS — 1,98 FeS — 1,24 CuFeS ₂ — 3,21	«Таргионит»
[193]	Pb Cu Ag S Sb	76,89 2,28 0,69 15,56 4,57	3711 359 64 4852 375	1,17 (S)		CuFeS ₂ — 6,07	«Таргионит»
[194]	Pb Ag S Sb	82,25 0,59 14,59 2,57	3969 55 4550 211	0,76 (S)		FeS — 4,42	«Таргионит»
[195]	Pb Ag S Sb	80,37 0,50 14,58 4,55	3879 46 4547 374	0,27 (S)		FeS — 2,88	«Таргионит»
196	Pb Ag S	86,16 0,41 13,43	4158 38 4188	0,04 (S)	7,58	ZnS — 1,61 FeS — 0,76 PbO — 2,25	

№ анализа	Компо- ненты	Вес. %	Атомн. коэфф.	Избыток В или S в вес. %	Плотность	Исключенные примесь, вес. %	Замечания
[198]	Pb Cu Ag S S b	83,36 0,45 0,33 12,44 3,42	4023 71 30 3879 281	12,74 (Pb)		ZnS — 0,03 FeS — 2,17	«Таргониит» Можно допус- тить только при- месь PbO, так как в этом слу- чае сумма соста- вит 99,96%
[204]	Pb Ag S Sb	87,42 0,25 12,17 0,15	4219 23 3795 12	9,41 (Pb)		CuFeS ₂ — 3,49 FeS — 0,76 SiO ₂ — 5,15	Можно допус- тить только при- месь PbO, так как исходная сумма в этом случае соста- вит 99,82%
205	Pb Ag S Sb	86,14 0,21 13,44 0,20	4157 19 4191 16	0,00	7,52	PbCO ₃ — 2,45 Силикат — 0,19	
206	Pb Ag Sb S	86,22 0,21 0,10 13,46	4161 19 8 4198	0,04 (S)	7,58	PbO — 0,99 Нер. ост — 0,31	В случае при- меси PbCO ₃ плотность рав- на 7,61
[209]	Pb Ag Cu S Sb	86,35 0,15 0,29 13,08 0,12	4167 14 46 4079 10	2,96 (Pb)		ZnS — 3,09	
[211]	Pb Ag S	86,75 0,14 13,11	4186 13 4088	2,15 (Pb)	7,28	MnS — 1,90 FeS — 1,31	Если избыток Pb связать в PbCO ₃ , то плот- ность составит 7,30, а сум- ма — 100,11%
[212]	Pb Ag S	86,15 0,14 13,71	4158 13 4276	0,36 (S)	7,01	FeS ₂ — 1,45	
	Pb Ag S	87,14 0,06 12,80	4205 6 3992	4,48 (Pb)		Горная порода — 5,88	
[222]	Pb Ag S	86,50 0,05 13,44	4174 5	0,05 (S)	7,42	(Zn, Cd)S — 4,44 FeS ₂ — 0,47 Горная порода — 3,23	Плотность горной породы условно приня- та 2,65, очевид- но меньше истинной. В про- тивном случае исправленная плотность будет еще ниже

№ анализа	Компо- нента	Вес. %	Атомн. колич.	Избыток Вг или S в вес. %	Плотность	Исключенные примеси, вес. %	Замечания
[225]	Pb Ag S	86,22 0,05 13,73	4161 5 4282	2,46 (Pb)	7,40	CuFeS ₂ — 0,17 FeS ₂ — 0,11 ZnS — 1,81 SiO ₂ — 1,27	
227	Pb Ag Cu S	85,55 0,04 0,44 13,96	4129 4 69 4354	0,61 (S)	7,48	CuFeS ₂ — 0,49 ZnS — 0,67 Нер. ост. — 0,16	
228	Pb Ag S As Sb	86,70 0,04 13,18 0,03 0,04	4184 4 4110 4 3	1,78 (Pb)		Нер. ост. — 1,93	
229	Pb Cu Ag S	86,51 0,05 0,04 13,40	4175 8 4 4179	0,04 (Pb)	7,53	CuFeS ₂ — 0,23 PbCO ₃ — 0,85 SiO ₂ — 1,62	
230	Pb Cu Ag S Sb	86,47 0,06 0,04 13,42 0,01	4173 9 4 4185	0,02 (S)	7,52	BaSO ₄ — 0,14 PbCO ₃ — 0,16 ZnS — 0,15 CuFeS ₂ — 0,12 Горная порода — 0,46	
[234]	Pb Cu Ag S	86,14 0,30 0,03 13,52	4157 47 3 4216	0,11 (S)		PbSO ₄ — 13,33 CuFeS ₂ — 0,17 SiO ₂ — 0,39	
236	Pb Ag S Sb	86,51 0,03 13,44 0,018	4175 3 4191 2	0,02 (S)	7,50	SiO ₂ — 1,50	
[237]	Pb Ag S Sb	86,69 0,03 13,26 0,01	4184 3 4135 1	1,08 (Pb)		Нер. ост. — 1,05	
[240]	Pb Ag S	86,02 0,03 13,95	4151 3 4350	0,63 (S)		PbCO ₃ — 12,94 Разные примеси 2,09	
[241]	Pb Ag S	86,08 0,02 13,89	4154 2 4332	0,57 (S)		PbCO ₃ — 12,37 CaCO ₃ — 1,80 Разные примеси 0,69	
244	Pb Ag S	86,33 0,01 13,66	4166 1 4260	0,30 (S)		PbCO ₃ — 6,75 CaCO ₃ — 0,62 SiO ₂ — 6,01 Прочие — 2,02	

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	Избыток Вi или S в вес. %	Плотность	Исключенные примеси, в вес. %	Замечания
[245]	Pb Ag Sb S	86,60 0,02 0,03 13,34	4179 2 2 4160	0,46 (Pb)	7,57	ZnS — 8,99 CuFeS ₂ — 0,14 FeS — 0,20 PbCO ₃ — 1,12 Прочие — 0,58	
[247]	Pb Ag S As Sb	86,82 0,01 13,13 0,02 0,02	4190 1 4095 3 2	2,13 (Pb)		Нер. ост. — 1,21	
[248]	Pb Cu Ag S	82,66 3,19 0,01 14,13	3989 502 1 4406	0,53 (S)		PbSO ₄ — 8,45 (Ca, Mg) SO ₄ — 0,16 CuFeS ₂ — 0,09 SiO ₂ — 0,83	
<i>Галенит, не содержащий ни серебра, ни висмута</i>							
[252]	Pb S Sb	86,55 13,41 0,03	4177 4182 2	0,01 (S)		Разные примеси — 69,02	
[253]	Pb S	84,49 15,51	4078 4837	2,43 (S)		ZnS — 66,32 FeS ₂ — 1,89	«Гуасколит»
[254]	Pb S	87,98 12,02	4246 3748	10,32 (Pb)		ZnS — 38,16 Нер. ост. — 3,10	«Гуасколит». Если связать избыток Pb в PbCO ₃ , то сумма будет 98,14%
[255]	Pb Cu S	83,41 2,18 14,41	4025 343 4494	0,95 (S)		PbSO ₄ — 31,11 BaSO ₄ — 4,29 ZnS — 0,03 CuFeS ₂ — 0,49 Горная порода — 1,24	
[256]	Pb S Sb	86,45 13,46 0,09	4172 4198 7	0,03 (S)		Разные примеси — 33,00	
[257]	Pb S	86,62 13,38	4180 4173	0,14 (Pb)	8,26	ZnS — 24,73 FeS ₂ — 3,70 PbO — 10,08	Определена минимальная плотность
[258]	Pb S	86,4 13,6	4170 4241	0,23 (S)	8,88	FeS — 10,18 Sb ₂ S ₃ — 13,88	При FeS ₂ и PbO уд. вес — 8,78
[259]	Pb S	86,20 13,80	4174 4304	0,45 (S)		PbSO ₄ — 10,72 CuFeS ₂ — 0,31 FeS ₂ — 0,69 Горная порода — 0,26	

№ анализа	Компо- ненты	Вес. %	Атомн. коэфф.	Избыток Вi или S в вес. %	Плотность	Исключенные примеси, вес. %	Замечания
[260]	Pb Cu S Sb	85,23 0,36 13,35 1,06	4113 57 4163 87	2,2) (Pb)		ZnS — 0,34 CuFeS ₂ — 1,87 Нер. ост. — 6,84	
[261]	Pb S	86,50 13,50	4174 4210	0,24 (S)		ZnS — 7,41 FeS — 1,05	
[262]	Pb S	86,86 13,14	4192 4098	1,95 (Pb)		FeS — 2,27 Нер. ост. — 4,74	
264	Pb S	86,61 13,39	4180 4176	0,08 (Pb)	7,59	ZnS — 5,35	
266	Pb S	86,29 13,71	4164 4276	0,36 (S)		ZnS — 3,13 FeS ₂ — 0,82 SiO ₂ — 0,53	
[267]	Pb Cu S Sb	86,64 0,16 12,94 0,26	4181 25 4035 21	2,05 (Pb)		CuFeS ₂ — 0,82 (Zn, Cd)S — 1,49 Нер. ост. — 2,07	
268	Pb Cu S	85,91 0,18 13,90	4146 28 4335	0,56 (S)	7,55	CuFeS ₂ — 0,46 ZnS — 1,64 SiO ₂ — 0,90	
269	Pb S	86,44 13,55	4172 4226	0,17 (S)	7,53	ZnS — 3,25	
[270]	Pb S Sb	86,42 13,41 0,17	4171 4182 14		7,63	CuFeS ₂ — 0,17 FeAsS — 0,90 FeS ₂ — 0,13 PbO — 1,45 SiO ₂ — 0,33	
[271]	Pb Cu S Sb	86,55 0,03 13,41 0,01	4177 3 4182		7,88	BaSO ₄ — 0,04 PbO — 2,34 ZnS — 0,25 CuFeS ₂ — 0,09 Силикат — 0,37	Если избыток Pb связывать вслед за Ю. С. Нестеровой в PbCO ₃ , то плотность должна быть еще выше
[272]	Pb S	87,28 12,72	4212 3967	5,08 (Pb)		ZnS — 0,40 FeS ₂ — 3,03	Для связыва- ния избытка Pb в PbO требует- ся 0,40% O, тог- да сумма со- ставит 100,24%
273	Pb S Sb	86,58 13,40 0,01	4178 4179 1			Разные примеси — 2,60	

№ анализа	Компо- ненты	Вес. %	Атомн. колич.	Избыток Вi или S в вес. %	Плотность	Исключенные примеси, вес. %	Замечания
[275]	Pb S	87,66 12,94	4202 4035	3,46 (Pb)		ZnS — 0,60 FeS ₂ — 2,34	Для PbO пре- блеется 0,27 Pb, тогда сумма со- ставит 100,41%
[277]	Pb S	85,17 12,66	4215 3948	5,53 (Pb)		ZnS — 0,70 FeS ₂ — 2,66	Избыток Pb нельзя связать даже в PbO, так как исход- ная сумма в этом случае со- ставит 101,30%
278	Pb Cu S	86,29 0,24 13,47	4164 38 4201	0,06 (S)	7,59	CuFeS ₂ — 0,33 ZnS — 0,04 PbCO ₃ — 0,02 Силикат — 0,78	
[280]	Pb S	86,43 13,57	4171 4238	0,21 (S)		Pb ₅ Cl(PO ₄) ₃ — 10,03 SiO ₂ — 0,29	Необходимо 0,27% Cl и сум- ма в этом слу- чае составит 100,65%
<i>Селенсодержащий галенит</i>							
[292]	Pb S Se	85,59 13,15 1,26	4130 4101 160	0,42 (S)	7,64	CuFeS ₂ — 0,99 FeS ₂ — 0,37 SiO ₂ — 0,48	
293	Pb Cu S Se	85,50 0,76 12,52 1,22	4126 112 3904 154	2,57 (Pb)	7,60	CuFeS ₂ — 1,58 Нер. ост. — 2,02	

Результаты пересчета химических анализов гладиита, линдстремита, хаммарита и айкинита (анализы расположены по мере уменьшения содержания в них висмута)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. колич.	Fe(Ni)S ₂	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi : S	Избыток Bi или S в вес. %	Замечания
320	Bi Pb Cu Fe S Нер. ост. С у м м а	64,96 12,40 3,98 0,19 18,04 0,12 99,69	3108 598 626 34 5626		34 34 64	592 296	598 598	1:1,502 Bi ₂ S _{3,02}		Гладит, Гладхаммар, Швеция, анал. К. Юханссон (Johansson, 1924 ₁). Кристаллические вроски в кварц с рецбаннитом и галенобисмутитом
321	Bi Pb Cu S С у м м а	57,67 18,84 5,81 17,68 100,00	2759 909 914 5514			914 457	909 909	1:1,503 Bi ₂ S _{3,01}		Линдстремит, Джида, анал. В. А. Орлова (Смолянинов, 1940). После вычитания кварца по Ю. Спейту
[322]	Bi Pb Cu Fe S Нер. ост. С у м м а Плотность	57,13 18,95 5,84 Сл. [17,88] 0,20 100,00 7,01	2733 914 919 5576			919 460	914 914	1:1,538 Bi ₂ S _{3,06}		Линдстремит, Гладхаммар, Швеция, анал. К. Юханссон (Johansson, 1924 ₁). Более или менее хорошо образованные кристаллы, вросшие в кварц. Сера определена по разности
[323]	Bi Pb Cu Fe S Нер. ост. С у м м а	50,95 24,24 7,88 0,29 15,72 0,03 99,11	2438 1170 1240 52 4902		52 52 104	1188 594	1170 1170	1:1,244 Bi ₂ S _{2,49}	8,26 (Bi)	Минерал X, Гладхаммар, Швеция, анал. К. Юханссон (Johansson, 1924 ₁). В кварце: покрыт сверху зелеными продуктами разложения. Под микроскопом неоднородный. Юханссон считает, что вполне вероятно частичное окисление

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. коллч.	Fe(Ni)S ₃	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi : S	Избыток Bi или S в вес. %	Замечания
[324]	Bi Pb Cu S Пер. ост. С у м м а	47,59 27,40 7,60 17,01 0,04 99,64	2277 1322 1196 5305			1196 598	1322 1322	1:1,487 Bi ₂ S _{2,97}	0,44 (Bi)	Хаммарит, Гладхаммар, Швеция, анал. К. Юханссон (Johansson, 1924 ₁). Кристаллы в кварце
[325]	Bi Pb Cu Ni S Te (?) С у м м а	43,20 24,32 12,10 1,58 11,58 1,32 94,10	2067 1174 1994 269 3611 103	269 538		1904 952	1174 1174	1:0,508 Bi ₂ (S, Te) ₁₀₂	27,73 (Bi)	Айкинит (?), Березовский з-д, анал. Джон (Hermann, 1858)
326	Bi Pb Cu Fe (FeO) S Sb SiO ₂ С у м м а	41,23 29,74 11,12 0,05 17,06 0,11 0,35 99,66	1973 1435 1750 5320 9			1750 875	1435 1435	1:1,522 Bi ₂ S _{3,04}		Айкинит, Джида, анал. В. М. Сендерова, Банштедт-Куплетская, 1960, по данным М. Повилайтес)
327	Bi Pb Cu S С у м м а	36,45 36,05 10,59 16,61 99,70	1744 1740 1667 5180			1667 834	1740 1740	1:1,494 Bi ₂ S _{2,9}		Айкинит, Березовский з-д, анал. Г. Фрик (Frick, 1834)

{328}	Bi Pb Cu S С у м м а	36,25 35,15 11,11 16,56 99,07	1734 1696 1748 5161			1748 874	1696 1696	1:1,496 Bi ₂ S _{2,99}		Айкинит, Березовский з-д, анализ К. Гюллемен (Guillemin, 1900)
329	Bi Pb Cu S С у м м а	36,20 36,01 10,90 16,60 99,71	1732 1738 1715 5177			1715 858	1738 1738	1:1,467 Bi ₂ S _{2,93}	0,79 (Bi)	То же, что 328
{330}	Bi Pb Cu Fe S Пер. ост. С у м м а	35,98 35,34 10,89 0,13 16,53 0,41 99,28	1722 1705 1714 23 5155	23 23 46		1691 846	1706 1706	1:1,485 Bi ₂ S _{2,97}	0,38 (Bi)	Айкинит, Гладхаммар, Швеция, анализ К. Юханссон (Johansson, 1924). Грубозернистый с халькопиритом, пиритом, галенимом, магнетитом
331	Bi Pb Cu Fe S Пер. ост. С у м м а	35,94 35,66 11,31 0,48 16,79 0,03 100,48	1720 1721 1780 86 5236	86 86 172		1694 1694	1721 1721	1:1,451 Bi ₂ S _{2,90}	1,15 (Bi)	Айкинит, Акчагыл, анализ Покровская (Цигикалова, 1959). В сумме — 0,21% CaO
{332}	Bi Pb Cu S С у м м а	35,53 35,87 11,19 16,33 98,92	1700 1731 1761 5093			1761 882	1731 1731	1:1,459 Bi ₂ S _{2,97}	0,96 (Bi)	Айкинит, Березовский з-д, анализ Г. Фрик (Frick, 1858)

№ анализа	Компоненты	Вес. %	Атомн. кол-во	Fe(Ni)S ₂	CuFeS ₂	(Cu, Ag) ₂ S	PbS	Bi:S	Избыток Bi или S в вес. %	Замечания
[333]	Bi Pb Cu Ni S С у м м а	34,87 36,31 10,97 0,36 16,50 99,10	1668 1752 1726 61 5146	61 122		1726 863	1752 1752	1:1,444 Bi ₂ S _{2,89}	1,30 (Bi)	Айкнит, то же, что ан. 332, в сумме — 0,09% Au
[334]	Bi Pb Cu S С у м м а Плотность	34,62 35,69 11,79 16,05 98,15 6,757	1656 1722 1856 5005			1856 928	1722 1722	1:1,422 Bi ₂ S _{2,84}	3,20 (Bi)	Айкнит, то же, что н ан. 332
[335]	Bi Pb Cu Fe S SiO ₂ CaO С у м м а	30,4 39,3 10,4 Сл. 15,7 3,2 0,4 99,4	1454 1897 1637 4896			1637 818	1897 1897	1:1,500 Bi ₂ S ₃		Айкнит, Карагайское месторождение, анал. Поток (Янулова, Поток, 1956). Следы Zn; Mn — нет
[336]	Bi Pb Cu S С у м м а Плотность	27,93 40,10 12,53 18,78 99,34 6,10	1336 1935 1972 58,57			1972 986	1935 1935	1:2,198 Bi ₂ S _{4,40}	2,99 (S)	Айкнит, Березовский з-д, анал. К. Чепмен (Схарман, 1847)

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
30	11 сверху	87	77
33	8 сверху	$Pb(S, Se)_2$	$Pb(S, Se)$
36	Подпись к рис. 10	кабельтине	кобальтина
50	6 сверху	15, <i>a</i>	14, <i>a</i>
50	7 сверху	15, <i>б</i>	14, <i>б</i>
50	подпись к рис. 14, 5 стр. сверху	VIII — 0,1355	VIII — 1,0355
66	18 сверху	или	ими
88	анализ 28, 10 столбец	250	1000
92	анал. 43, 5 столбец	SiSe	S : Se
97	анализ 64, 12 столбец	$Bi_2Se_{2,98}$	$Bi_2S_{2,98}$
107	анализ 97, 12 столбец	$Bi_2(S, Se)_{2,49}$	$Bi_2(S, Se)_{2,73}$
110	анализ 100, 14 столбец	As) \sim_{23}	As) $_2S_3$
113	анализ 111, 11 столбец	1 : 1,360	1 : 1,460
126	анализ 142, 13 столбец	$3PbS \cdot 2(Bi, Sb)_2S_3$	$3PbS \cdot (Bi, Sb)_2S_3$
126	анализ 142, 14 столбец	$3(Pb, Ag_2)S \cdot 6Bi_2S_3$	$3(Pb, Ag_2)S \cdot Bi_2S_3$
128	анализ 144, 12 столбец	3,01	—
147	анализ 204, 3 столбец	99,48	99,185
147	анализ 205, 3 столбец	1,001	0,001
167	анализ 278, 13 столбец	1:	1 : 1,004
178	анализ 180, 4 столбец	4134	4184
180	между анализом 212 и 222 помснен анализ 221		

А. А. Годовиков. «Минералы ряда висмутии — галенит».

Предисловие (П.В. Ермолов, А.Г. Владимиров)	3
Часть 1. <u>Глубинные включения в известково-щелочных гранитоидах и гранитоидах смешанной линии</u> (П.В. Ермолов)	5
Постановка проблемы	-
Типы гранитоидных ассоциаций складчатых областей	6
Глубинные включения в известково-щелочных гранитоидах	8
Клинопироксен-биотит-амфиболовые гранитоиды и монцониты	-
Двупироксен-биотит-амфиболовые чарнокитоиды	16
Биотит-амфиболовые гранитоиды	51
Обсуждение результатов	56
Глубинные включения в гранитоидах и монцонитоидах смешанных линий	61
Оливин-клинопироксен-амфибол-биотитовые монцониты	-
Гранат-двупироксен-биотит-амфиболовые чарнокитоиды	76
Двупироксен-биотит-амфиболовые чарнокитоиды	79
Обсуждение результатов	85
Часть 2. <u>Глубинные включения в гранитоидах с высокоглиноземистыми минералами</u>	88
Постановка проблемы (А.Г. Владимиров)	-
Мигматит-граниты низких давлений (А.Г. Владимиров, С.А. Каргополов, М.М. Малых)	89
Гипабиссальные гранитоиды S-типа (А.Г. Владимиров, С.А. Каргополов)	114
Заключение (П.В. Ермолов, А.Г. Владимиров)	136
Список литературы	138

Научное издание

Ермолов Петр Васильевич
Владимиров Александр Геннадьевич
Каргополов Сергей Александрович
Малых Михаил Михайлович

ГЛУБИННЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ГРАНИТОИДАХ
СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Редактор издательства А.М. Самсоненко
Художественный редактор М.Ф. Глазырина
Художник Н.Ф. Гришин
Технический редактор Н.М. Остроумова
Корректоры И.А. Чернова, Л.Л. Михайлова

ИБ № 34669

Сдано в набор 06.03.90. Подписано к печати 07.06.90.
МН-01655. Формат 70 x 100 1/16. Бумага офсетная.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 11,7. Усл. кр.-отт. 12.
Уч.-изд. л. 10,7. Тираж 600 экз. Заказ № 85.
Цена 2 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Наука", Сибирское отделение.
630099 Новосибирск, ул. Советская, 18.

4-я типография издательства "Наука".
630077 Новосибирск, ул. Станиславского, 25.