

## НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ И ПЕРВЫЕ НАХОДКИ В СССР

УДК 549.313

Е. Н. ЗАВЬЯЛОВ и д. чл. В. Д. БЕГИЗОВ

РАКЛИДЖИТ  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  — НОВЫЙ МИНЕРАЛ  
ИЗ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОД И КОЧКАРЬ<sup>1</sup>

При изучении образцов с золоторудных месторождений Зод (Армения) и Кочкарь (Урал) наше внимание привлек минерал, очень похожий на теллуровисмутит, но с химическим составом, отвечающим формуле  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  и отличающийся от теллуровисмутита по рентгеновским и оптическим данным. Этот минерал назван нами раклиджитом (rucklid-geite) по имени Дж. Раклиджа, впервые отметившего на месторождении Робб-Монтбрей (Квебек, Канада) фазу аналогичного состава, для которой предложил формулу  $(\text{Pb}, \text{Bi})_3\text{Te}_4$ . Весьма малые размеры зерен (30—40 мкм) не позволили ему детально изучить минерал; было высказано предположение о кубической симметрии (Rucklidge, 1969).

Нами изучены образцы раклиджита с месторождения Кочкарь — крупный, изометричный, ксеноморфный сросток с золотом (размерами  $13 \times 9$  мм) из интерстиции между зернами кварца, раклиджит занимает половину сростка и частично выколосся по весьма совершенным плоскостям спайности,<sup>2</sup> и с месторождения Зод — листоватый агрегат, расположенный вдоль трещинки (толщиной 1.1 мм) в доломите,<sup>3</sup> микроскопические (до 0.5 мм) разноориентированные таблитчатые зерна, окаймленные арсенопиритом и буланжеритом, в доломите.<sup>4</sup>

Макроскопически раклиджит очень похож на теллуровисмутит: слагает листоватые агрегаты, цвет серебристо-белый, черта свинцово-серая, блеск металлический (на свежем изломе сильный), спайность весьма совершенная по пинакоиду и средняя по ромбоэдру. По плоскостям спайности раклиджит легко расщепляется на гибкие, но неупругие пластинки. Немогнитен.

Твердость по микровдавливанию измерялась на приборе ПМТ-3 на неориентированных сечениях при нагрузке 10 Г. Минерал обладает анизотропией твердости:  $H_{1\text{ср.}} = 62.9 \pm 3.6$  кг/мм<sup>2</sup>,  $H_{2\text{ср.}} = 51.6 \pm 3.3$  кг/мм<sup>2</sup>. Коэффициент анизотропии первого рода  $K_H = 1.22$ , твердость по Хрущеву  $H_{01} = 2.7$ ,  $H_{02} = 2.5$ . Минерал хрупкий, трещины и сколы вокруг отпечатков возникают уже при нагрузке 5 Г. Вокруг отпечатков обнаруживаются две системы трещин спайности: весьма совершенная и средняя.

В отраженном свете раклиджит белый с очень слабым розоватым оттен-

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМ) Всесоюзного минералогического общества 18 марта 1975 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 4 февраля 1976 г.

<sup>2</sup> Образец передан в Минералогический музей ИМГРЭ как тетрадимит М. И. Войном (ЦНИГРИ), нами получен от В. И. Степанова (ИМГРЭ), отметившего отличие по дебаграмме от других теллуридов висмута (устное сообщение).

<sup>3</sup> Образцы получены нами как теллуровисмутит от В. Б. Сейраяна (УГ СМ Арм ССР), переданы нами в минералогические музеи МГРИ и ИМГРЭ.

<sup>4</sup> Образец получен нами как теллуровисмутит от М. С. Безсмертной (ИМГРЭ), определившей его отражение (Безсмертная и др., 1969, 1973).

ком. В образце М. С. Безмертной новый минерал находится в сростании с вольтинским, алтаитом и самородным золотом (рис. 1) и воспринимается как кремовый относительно вольтинскита, но бледно-розовый относительно алтаита. Двухотражение очень слабое в воздухе и заметное в иммерсии. При скрещенных николях обнаруживается блочная структура значительно вытянутых зерен, в воздухе и в иммерсии наблюдаются четкие цветные эффекты анизотропии от красновато-коричневого до голубовато-серого.

Раклиджит четко отличается от теллуровисмутита меньшими значениями коэффициентов отражения (табл. 1; рис. 2). Дисперсия отражения раклиджита в образце М. С. Безмертной измерялась Т. Н. Чвилевой (ИМГРЭ) на неориентированных сечениях на установке «Блеск» (Агроскин и др., 1972) и Л. Н. Вьяльсовым (ИГЕМ) на установке «ПИОР» (Вьяльсов, 1973), дисперсия отражения теллуровисмутита с месторождения Зод — Л. Н. Вьяльсовым на установке «ПИОР».

Таблица 1

Дисперсия отражения (R) раклиджита и теллуровисмутита

Образец	Минерал	R (в %) при различных $\lambda$ (в нм)															
		440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740
3	Раклиджит	62.0	62.5	62.7	63.2	63.3	63.7	63.8	64.0	64.1	64.6	65.0	65.5	65.9	66.2	66.7	66.3
		59.8	60.1	60.3	60.6	60.5	60.8	60.8	60.9	61.0	61.3	61.9	62.4	62.9	63.1		
3а	»	61.4	59.8	61.2	62.4	63.6	64.7	64.6	64.9	65.1	65.5	65.8	65.2	66.1	66.7	66.3	
5	Теллуровисмутит	65.6	63.0	64.6	64.6	66.2	67.1	67.1	67.7	68.3	69.2	70.1	71.0	71.7	72.4	72.7	73.0
		60.9	59.2	60.2	59.9	60.9	61.3	61.3	61.4	61.8	62.4	63.2	63.9	64.4	65.5	66.0	65.7

Примечание. Обр. 3 измерен Т. Н. Чвилевой (ИМГРЭ), опорный эталон — кремний, аттестованный в ИГЕМе; обр. 3а и 5 — Л. Н. Вьяльсовым (ИГЕМ), опорные эталоны — пирит и кремний, аттестованные в Англии.

Химический состав раклиджита (табл. 2) соответствует данным, полученным Дж. Раклиджем (Rucklidge, 1969) и рассчитывается на формулы, близкие к стехиометрическим  $(\text{Bi}, \text{Pb})_3\text{Te}_4$  или  $\text{PbBi}_2\text{Te}_4$ , несмотря на колебания в минерале содержания свинца и элементов-примесей (серебра и

Таблица 2

Химический состав раклиджита и зодского теллуровисмутита

Образец	Месторождение	Вес. %						Атомные соотношения						
		Bi	Pb	Sb	Ag	Te	сумма	Bi	Pb	Sb	Ag	сумма Bi, Pb, Sb, Ag		
1	Искусственный	39.0	17.3	Не обн.	Не обн.	44.9	101.2	2.12	0.95	—	—	3.07	4.00	
2	Кочкарь	37.4	15.4	»	»	1.2	43.9	97.9	2.08	0.86	—	0.13	3.07	4.00
3	Зод	33.1	13.6	1.0	1.1	44.2	98.0	2.11	0.76	0.10	0.12	3.09	4.00	
4	»	39.6	9.4	2.9	1.9	44.9	98.7	2.15	0.52	0.27	0.20	3.14	4.00	
а	Робб-Монтбрей	37.4	16.6	Не обн.	Не обн.	44.6	98.6	2.05	0.92	—	—	2.97	4.00	
б	»	40.2	15.2	»	»	45.3	100.7	2.17	0.82	—	—	2.99	4.00	
5	Зод	50.0	Не обн.	0.8	»	»	47.8	98.6	1.92	—	0.05	—	1.97	3.00

Примечание. Обр. а — анализ Дж. Раклиджа, обр. б — анализ А. Н. Кларка (Rucklidge, 1969). Анализ, приведенные в работе Дж. Раклиджа, рассчитаны нами. Обр. 1 — А. Ю. Малевского, обр. 2 — М. И. Воина, обр. 3 — 5 — соответственно М. С. Безмертной, В. Б. Сейраняна и Г. О. Пиджяна. Условия анализов при наших исследованиях: микроанализатор MAP-2, эталоны — химически чистые висмут, серебро, сурьма, галенит, а также синтетические  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{PbTe}$ . Количественный анализ проводился при ускоряющем напряжении 35 кВ по линиям  $L_{\alpha_1}$  для всех элементов. При пересчете относительных интенсивностей на концентрации вводились поправки на поглощение и атомный номер по Г. Шпрингеру (Springer, 1967).



2	4.317	1/3	1.314	—	3	2.0.2.23	3	1.297	2	1.301	2.1.3.10
2	4.305	3	1.300	1.299	3	1.2.3.14	1/2	1.271	1	1.271	0.0.0.24
1/3	4.281	1	1.276	1.274	2	3030	2	1.264	—	—	3030*
1	4.268	2	1.264	1.263	2	1.0.1.31	1	1.251	1	1.251	1.0.1.23*
						2.1.3.16	1/2	1.223	1	1.241	2.1.3.13*
							2	1.210	1	1.189	1.1.2.21
							2	1.187	1	1.189	2.0.2.20
											0339
3	4.176	3	1.172	1.174	2	2.0.2.28	2	1.161	2	1.160	1.0.1.25
						1.1.2.30	1	1.144	—	—	2.1.3.16*
3	4.137	2	1.132	1.132	1	1.0.1.35	1	1.120	1	1.121	1.2.3.17
							1				1.0.1.26
							1				2.0.2.22*
1/3	4.108	1	1.104	1.103	2	2240	1	1.095	1/2	1.095	2240
1/3	4.009	1/2	1.095	—	1	2.0.2.31	1	1.086	—	—	2.0.2.23*
						1.1.2.33	3	1.073	1	1.074	0.3.3.15
4	4.075	3	1.071	1.071	3	3.0.3.21	1	1.044	2	1.048	1.2.3.20*
						1.2.3.26	1	1.036	1/2	1.041	3145*
							2	1.025	1/2	1.029	2.0.2.25*
1/2	4.056	1/2	1.049	1.049	—	1.0.1.38	4	1.013	1/2	1.019	1.0.1.29*
1	4.048	1	1.044	1.043	2	1347	1	0.994	1	0.998	3.0.3.18*
4	4.039	3	1.035	1.034	2	2.1.3.28	2	—	1	—	3148
							1	0.994	1	0.998	1.3.4.10
1	4.012	1	1.008	1.007	1/2	2.0.2.35	1	0.994	1	0.998	
						1.3.4.13	2	—	1	—	
2	4.002	2	0.999	0.998	2	3.1.4.14	2	—	1	—	
1/3	0.986	1	0.982	—	—	3.0.3.27	2	—	1	—	
						2.1.3.31	—	—	—	—	
						3.1.4.16	—	—	—	—	

Примечание. Условия съемки: ФЭК, иллучение, камера РКД-57.3. Обр. 1 — искусственное соединение, А. Ю. Малевского; обр. 2 — с месторождения Кочкарь, М. И. Воина; обр. 3-5 — с месторождения Зод, соответственно М. С. Безмерной, В. В. Сейраняна и Г. О. Пидьян. Индексы теллуридысмутига, отмеченные звездочкой, рассчитаны нами.

сурьмы).<sup>5</sup> Мы остановились на первом варианте формулы, так как известно искусственное соединение близкого химического состава, в структуре которого установлено статистическое распределение висмута и свинца (Жукова, Заславский, 1970, 1971).



Рис. 1. Срастания раклиджита (1), волинскита (2), алтаита (3) и самородного золота (4). Увел. 660.

Помимо природного минерала нами изучена искусственная фаза, полученная А. Ю. Малевским (ИМГРЭ), атомные соотношения элементов в которой  $Pb : Bi : Te = 1 : 2 : 4$  (табл. 2—4). Небольшое уменьшение содержания свинца и теллура относительно заданного при синтезе объяс-

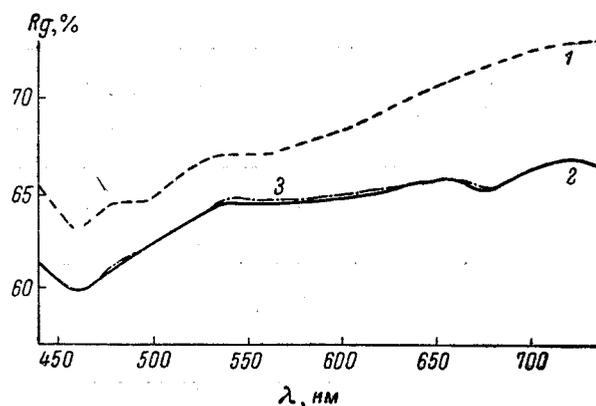


Рис. 2. Спектры отражения теллуговисмутита (1) и раклиджита (2, 3).

2 — данные Т. Н. Чвилевой, 1 и 3 — данные Л. Н. Вьялсова.

нимо наличием микроскопических включений в полученной фазе соединения  $PbTe$ . Аналогия раклиджита с соответствующим искусственным соеди-

<sup>5</sup> На месторождении Уруп отмечены микроскопические зерна (сотые доли миллиметра) теллурида висмута и свинца ( $Pb$  5—14.8 вес.%) с химическим составом, соответствующим формуле  $(Bi, Pb)Te$  (Качаловская и др., 1971).

нением подтвердилась и рентгеновскими данными (табл. 3, 4). Пробы для получения дебаеграмм брались по методу С. Химстре (Hiemstra, 1956) из участков, анализировавшихся на микросонде.

Дифракционные картины на дебаеграммах раклиджита и теллуровисмутита близки, но при этом имеются и существенные различия (табл. 3): заметно смещены сходные линии, на дебаеграммах раклиджита отсутствует 16 слабых отражений теллуровисмутита и присутствует 10 слабых отражений, которых нет у последнего, часть из них не индицируется в параметрах элементарной ячейки теллуровисмутита (особенно с  $d/n=4.60-4.62 \text{ \AA}$ ). Межплоскостные расстояния раклиджита несколько увеличиваются с повышением содержания в нем свинца, что отразилось и на параметрах его элементарной ячейки (табл. 2—4). Дебаеграммы раклиджита проиндицированы методом наименьших квадратов при гексагональной элементарной ячейке с допустимыми расхождениями измеренных и вычисленных величин  $d/n$  не более 0.1%.

Таблица 4

Рентгеновские данные раклиджита и теллуровисмутита

Параметр	Образцы раклиджита				Теллуровисмутит,	
	1 — искусственный	2 — Кочкарь	3 — Зод	4 — Зод	обр. 5 — Зод	по: Berry, Thompson (1962)
$a$ (в $\text{\AA}$ ) . . . . .	4.436	4.422	4.416	4.414	4.380	4.384
$c$ (в $\text{\AA}$ ) . . . . .	41.64	41.49	41.45	41.34	30.51	30.45
$V$ (в $\text{\AA}^3$ ) . . . . .	709.60	702.59	700.00	697.51	506.88	
$Z$ . . . . .	3	3	3	3	3	
$\rho_{\text{вч.}}$ (в $\text{г/см}^3$ ) . . . . .	8.07	8.06	8.07	8.01	7.76	

Примечание. Измеренный удельный вес обр. 2 7.738—7.740  $\text{г/см}^3$  (В. С. Амелина, ИГЕМ).

Полученные параметры элементарной ячейки (табл. 4) соответствуют общему характеру структур слоистых халькогенидов висмута, у которых  $a$  мало меняется, а  $c$  определяется числом слоев атомов в элементарной ячейке ( $N$ ), зависящим от суммы радикалов химической формулы  $2n+m$  (Strunz, 1963). У раклиджита параметр должен быть около  $42 \text{ \AA}$ , так как из соотношения  $N=3(2n+m)$  (Стасова, Карпинский, 1967) у него следует ожидать в элементарной ячейке 21 слой атомов. Все отражения на дебаеграммах раклиджита индицируются в соответствии с условиями ромбоэдричности; поэтому новый минерал следует отнести к пространственной группе  $R\bar{3}m$ , которую имеют искусственный аналог и теллуровисмутит.

Необходимо отметить, что нами изучен также образец с Зодского месторождения, состоящий из кварца с включениями тонких пластинок теллуровисмутита (табл. 2—4).<sup>6</sup>

Таким образом, на Зодском месторождении, где ранее отмечался теллуровисмутит в двух пространственно разобщенных минеральных ассоциациях: «1) с тетрадимитом в кварце и 2) с разнообразными теллуридами, герсдорфитом, галенитом, фрейслебенитом, золотом самородным, карбонатами в арсенопирит-пирит-кварцевом агрегате» (Безсмертная и др., 1969), присутствуют как теллуровисмутит (первая ассоциация), так и новый минерал — раклиджит (вторая ассоциация).

Раклиджит с месторождения Кочкарь передан в Минералогический музей АН СССР.

Авторы выражают глубокую благодарность В. И. Степанову и М. С. Безсмертной за предоставленные образцы, а также за консультации и внимание к работе.

<sup>6</sup> Образец передан в Минералогический музей ИМГРЭ Г. О. Пиджян нами получен от В. И. Степанова.

## Литература

- Агроскин Л. С., Г. В. Папаян, Л. П. Раутиан. (1972). Абсолютный регистрирующий микроспектрофотометр «Блеск». Геол. рудн. месторожд., т. 14, № 3.
- Безсмертная М. С., Л. А. Логинова, Л. Н. Соболева. (1969). Определение теллуридов под микроскопом. Изд. «Наука».
- Безсмертная М. С., Т. Н. Чвилева, Л. С. Агроскин, Л. И. Бочек, С. М. Лебедева, Л. А. Логинова. (1973.) Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. Изд. «Недра».
- Вяльсов Л. Н. (1973). Спектры отражения рудных минералов. Изд. ИГЕМА АН СССР.
- Жукова Т. Б., А. И. Заславский. (1970). Рентгенографическое исследование структуры  $PbBi_4Te_7$ . Ж. структурн. хим., вып. 11, № 3.
- Жукова Т. Б., А. И. Заславский. (1971). Кристаллическая структура соединений  $PbBi_4Te_7$ ,  $PbBi_2Te_4$  и др. Кристаллография, т. 16, вып. 5.
- Качаловская В. М., В. А. Кукоев, Е. В. Козлова. (1971). Теллуриды в рудах месторождения Уруп. Геол. рудн. месторожд., т. 13, № 6.
- Стасова М. М., О. Г. Карпинский. (1967). О слоистости в структурах селенидов и теллуридов висмута и теллуридов сурьмы. Ж. структурн. хим., т. 8, № 1.
- Berry L. G., R. M. Thompson. (1962). X-ray Powder Data for ore minerals. The Peacock atlas. Mem. Geol. Soc. Amer., v. 85.
- Hiemstra S. A. (1956). An easy method to obtain X-ray diffraction patterns of small amounts of material. Amer. Miner., v. 41, № 5—6.
- Rucklidge J. (1969). Frobergite, montbrayite and a new Pb—Bi telluride. Canad. Miner., v. 9, pt. 5.
- Springer G. (1967). Die Berechnung von Korrekturen für die quantitative Elektronenstrahl-Mikroanalyse. Fortschr. Miner., v. 45, № 1.
- Strunz H. (1963). Homöotypic  $Bi_2Se_2$ — $Bi_2Se_3$ — $Bi_3Se_4$ — $Bi_4Se_5$  u. s. w. Platynit, Ikunolit, Laitakariit. Ns. Jb. Miner. Monatshefte, № 7.

Московский  
геологоразведочный институт.