

УДК 549.232'233(574)

Л. Е. ГЕРЦЕН, З. Н. ПАВЛОВА<sup>1</sup>, В. Л. ЛЕВИН<sup>2</sup>

## ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ СЕЛЕНА И ТЕЛЛУРА НА МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

Селен мен теллур сыйыстырушы таужыныстарында (Бозшақол кенорны ауданы негізінде) матасоматиттерде, минералды парагенезисті және мысты-порфирлі кенорындарында кенді минералдар жеке қаралды. Осы элементтердің орташа қорыту құрамдары негізінен кенді минералдар болып есептеледі, келесі сатыда олардың концентрациясы  $K_1$  және  $K_2$  қатынасы бойынша минералды кларк және орташа құрамды қорытылған пайдалы кенді минералдар кенорындары жақсы анықталды. Кенде селен мен теллурдың түзілген пішіндері қаралды — изоморфты және минералды. Молибденді-мысты кендер кешендерінде селен мен теллурға мүмкіндігінше мінездеме берілген.

Селен и теллур - характерные элементы-примеси медно-порфировых месторождений Казахстана. В статье систематизированы данные по этим элементам из 20 месторождений. Накопление теллура в рудном процессе идет интенсивнее, чем селена, причем увеличивается к концу его (в кислотной и ультракислотной стадиях). Установлены изоморфные и минеральные формы селена и теллура в рудах. Изоморфная примесь селена характерна для галенита, а теллура для тетраэдрита и ряда других минералов. Из минеральных форм теллура и селена, установлено 26 минеральных видов, причем некоторые из них являются новыми, пока unnamed. Обычно все они образуют микровключения в основных рудных минералах - пирите и халькопирите.

Selenium and tellurium are typical elements - admixture of copper-porphyrific deposits in Kazakhstan. Data obtained on these elements from 20 deposits have been systematized in the article. Accumulation of tellurium in ore process occurs at a higher rate than that of selenium and it increases by its end (in acid and ultra acid stages). Isomorphic and mineral forms of selenium and tellurium in ores have been determined. Isomorphic admixture of selenium is typical for galenite and tellurium for tetrahedrite and a number of other minerals. In mineral forms of tellurium and selenium 26 mineral forms have been specified, some of them do not have names. As a rule they all form micro inclusions in the main ore minerals -pyrite and chalcopyrite.

Селен и теллур – типоморфные элементы медно-порфировых руд [14, 15, 21-23], однако, детальных исследований поведения их в рудном процессе на месторождениях этого типа в Казахстане до наших работ не проводилось.

Рудно-метасоматический процесс на медно-порфировых месторождениях (МПМ) Казахстана протекал в 5 стадий: щелочную, кислотную, бороалюмосиликатную, ультракислотную и позднещелочную [3-9, 12]. Главные рудные минералы (пирит, халькопирит, молибденит) являются сквозными и присутствуют во всех стадиях. Промышленные руды МПМ связаны со щелочной (биотитизация, калишпатизация, окварцевание), кислотной (хлоритизация, серицитизация, окварцевание) и ультракислотной стадиями рудного процесса.

В бороалюмосиликатной стадии (турмалинизация) скопления сульфидов редки и не представляют промышленного интереса.

Гидротермалиты ультракислотной стадии, наиболее детально изученные на месторождениях Восток I и II, представлены алунитовыми вторичными кварцитами с пиритом и окружающими их аргиллизитами, где развита каолинит-кварц-энаргит-халькозиновая парагенетическая ассоциация с теннантитом, молибденитом, халькопиритом и другими минералами.

Продукты позднещелочной стадии (цеолитизация и карбонатизация пород) хотя и содержат сульфиды (пирит, халькопирит, молибденит и др.), но они являются реликтовыми или переотложенными и не представляют промышленного интереса.

Химические анализы на селен и теллур выполнялись сотрудниками химической лаборатории ИГН АН КазССР колориметрическим методом, чувствительность анализа  $1 \cdot 10^{-4}$  %.

На месторождении Бозшақол были изучены подстилающие и вмещающие оруденение по-

<sup>1,2,3</sup> Казахстан, 050010, Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева.



Таблица 1. Средние содержания серы, селена и теллура в породах района и месторождения Бозшаколь, г/т.

Порода	Кол-во проб	S	Se	Te	S/Se	S/Te	Se/Te
Базальтовые порфириды эремантауской серии Rf <sub>2</sub> er	1 объединенная проба	8200	0,70	Не обн.	11714	-	-
Базальтовые порфириды темскольской свиты	1 объединенная проба	12600	Следы	Не обн.	-	-	-
Базальтовые порфириды джангабульской свиты C <sub>1</sub> <sup>2</sup> dj бозшакольской серии (рудовмещающая)	1 объединенная проба	6400	Не обн.	Не обн.	-	-	-
Андезито-базальтовые порфириды агырекской свиты C <sub>2</sub> ag (перекрывающая)	1 объединенная проба	13300	0,40	Не обн.	33250	-	-
Плагноклазовые порфириды джангабульской свиты C <sub>1</sub> <sup>2</sup> dj из месторождения Бозшаколь	14	<u>2300-132000*</u> 14	<u>Сл.-10,2</u> 10	<u>2,8-6,4</u> 6	1060- 23570	4107- 37701	0,78- 2,57
Плагногранит-порфиры из месторождения Бозшаколь	14	<u>11810-149900</u> 14	<u>2,6-8,4</u> 6	<u>4,0</u> 1	6730- 26640		2,1
Содержание элемента в земной коре (по Виноградову А. П., 1962)		470	0,05	0,001	9400		50

Примечание: В числителе – пределы колебания содержания, в знаменателе – количество проб, в которых обнаружен элемент.

роды на содержание в них серы, селена и теллура (табл. 1).

Выяснено, что базальтовые порфириды района месторождения Бозшаколь содержат значительные количества серы, тогда как селен отмечается во всех свитах, кроме рудовмещающей джангабульской, а теллур не обнаружен ни в одной из них. Это подтверждает данные Н. Д. Синдеевой [16] о чрезвычайно рассеянном состоянии теллура в горных породах. В базальтовых порфиридах среднего рифея и андезито-базальтовых порфиридах перекрывающей месторождение агырекской свиты содержание селена на один порядок выше его содержания в земной коре. Отсутствие селена в рудовмещающей свите и несколько пониженное содержание серы в ней по сравнению с другими породами района, возможно, указывает на мобилизацию вещества во время рудоотложения, в результате которой некоторые участки оказались обеднены элементами, участвующими в рудном процессе. Содержание серы в оруденелых порфиридах по сравнению с подстилающими породами увеличивается на один порядок, содержание селена – на один-два порядка, появляется теллур, который не обнаружен в подстилающих и перекрывающих свитах. Частота встречаемости селена и теллура и со-

держание их в оруденелых порфиридах несколько больше, чем в плагногранит-порфирах. По сравнению со средним содержанием для земной коры содержание серы и селена на месторождении Бозшаколь увеличено на 2-3 порядка, а теллура – на четыре, т. е. накопление теллура шло более интенсивно. Об этом же свидетельствуют значительно более низкие, чем средние для земной коры, значения отношений серы к теллуру и селена к теллуру.

Значительно ниже кларковых отношения селена к теллуру в парагенетических минеральных ассоциациях Бозшаколя и других МПМ Казахстана (табл. 2), причем оно уменьшается в ассоциациях кислотной и ультракислотной стадий. Косвенным указанием на присутствие теллуридов в рудах является непостоянство отношений серы к теллуру и селена к теллуру [24].

Средние содержания селена и теллура в главных и второстепенных минералах руд МПМ Казахстана представлены на рис. 1 и 2. Подсчитаны среднеарифметические содержания этих элементов в различных генерациях основных минералов и в сфалерите. Выяснилось, что среднее содержание селена в пирите и халькопирите ниже генеральной оценки среднего (минерального кларка по В. В. Иванову и др. [10]) его содержа-



Таблица 2. Селен и теллур в парагенетических ассоциациях некоторых МПМ Казахстана, г/т.\*

Месторождение	Стадия	Парагенетическая ассоциация минералов	Кол-во проб	Se	Te	Se/Te
Бозшаколь	Щелочная	Кварц-хлорит-пиритовая	1	3,00	He обн.	-
Бозшаколь	Щелочная	Калишпат-кварц-пренит-халькопиритовая	2	<u>2,00-80,00</u>	<u>3,0-66,0</u>	1,51
		Калишпат-кварц-халько-пирит-молибденитовая	1	30,00	19,8	9,75
		Калишпат-кварц-халько-пирит-молибденитовая	1	83,00	8,5	9,75
Айдарлы	Щелочная	Кварц-хлорит-пиритовая	1	1,5	4,0	0,38
		Кварц-калишпат-пренит-халькопиритовая	2	<u>6,00-40,00</u>	<u>He обн.-59,00</u>	0,78
		Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	5	<u>He обн.-3,00</u>	<u>He обн.-2,00</u>	1,00
Кызылту	Щелочная	Кварц-хлорит-пиритовая	1	1,50	1,50	0,90
		Кварц-калишпат-молибденит-халькопиритовая	2	<u>1,20-2,40</u>	<u>3,20-3,90</u>	0,47
		Калишпат-кварц-борнит-халькопиритовая	2	<u>3,00-17,60</u>	<u>He обн.-4,00</u>	5,25
Аномальный Селетинский	Щелочная	Кварц-хлорит-пиритовая	1	10,30	2,00	0,62
	Щелочная	Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	3	<u>3,00-6,00</u>	<u>3,00-10,00</u>	0,65
Монгол V	Щелочная	Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	4	4,50	6,50	1,66
		Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	4	<u>2,00-9,00</u>	<u>3,00-7,00</u>	1,66
Байское	Щелочная	Калишпат-кварц-халько-пиритовая	1	7,25	4,37	25,00
		Калишпат-кварц-халько-пиритовая	1	25,00	1,00	25,00
Каратас II	Щелочная	Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	3	<u>2,00-36,00</u>	<u>1,20-3,20</u>	7,14
		Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	3	15,00	2,10	7,14
Каратас IV	Щелочная	Кварц-хлорит-пиритовая	1	1,00	1,40	0,71
		Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	4	<u>1,20-8,00</u>	<u>1,20-8,00</u>	0,92
Коксай	Кислотная	Калишпат-кварц-молибденит-халькопиритовая	4	3,50	3,80	0,92
		Серицит-кварц-пиритовая	1	3,00	2,00	1,50
Каскырмыс	Щелочная	Кварц-хлорит-халькопиритовая	1	20,00	22,00	0,90
		Кварц-хлорит-пиритовая	2	<u>4,00-50,00</u>	<u>3,00-39,00</u>	1,23
Восток I	Ультра-кислотная	Кварц-хлорит-пиритовая	2	27,00	22,00	1,23
		Каолинит-кварц-энаргит-халькопирит-халькозиновая	3	<u>20,00-56,00</u>	<u>45,00-400,0</u>	0,15
				35,30	235,50	

\*Примечание. В числителе – пределы колебаний содержания элемента, в знаменателе – среднее его содержание в ассоциации.

ния в этих минералах, а среднее содержание селена в молибдените МПМ Казахстана превосходит минеральный кларк. Минеральный кларк селена для сфалерита отсутствует. Средние содержания селена в сфалерите из руд МПМ Казахстана выше, чем из руд МПМ Узбекистана [13], где оно составляет 5 г/т. Установлено более высокое среднее содержание селена в пиритах и молибденитах кислотной стадии по сравнению с аналогичными минералами щелочной стадии. В халькопирите разных генераций средние содержания селена близки.

На месторождениях Бозшаколь, Кызылту, Аномальный, Монгол V и Каскырмыс средние содержания селена превосходят таковые в минералах МПМ Казахстана и минеральные клар-

ки этого элемента в них (рис. 1 и табл. 3). На других месторождениях повышенные количества селена отмечаются в отдельных рудных минералах. Рассчитаны коэффициенты  $K_1$  (степень концентрации элемента по отношению к минеральному кларку) и  $K_2$  (степень концентрации к среднему содержанию элемента в минерале из МПМ Казахстана). Эти коэффициенты низки для минералов из месторождений Айдарлы, Борлы и Байское, кроме молибденита I (Айдарлы).

Среднее содержание теллура в пирите I (щелочная стадия) МПМ Казахстана ниже, а в пирите II (кислотная стадия) значительно выше минерального кларка его в этом минерале. В халькопиритах среднее содержание теллура в кислотной стадии также более высокое, оно при-



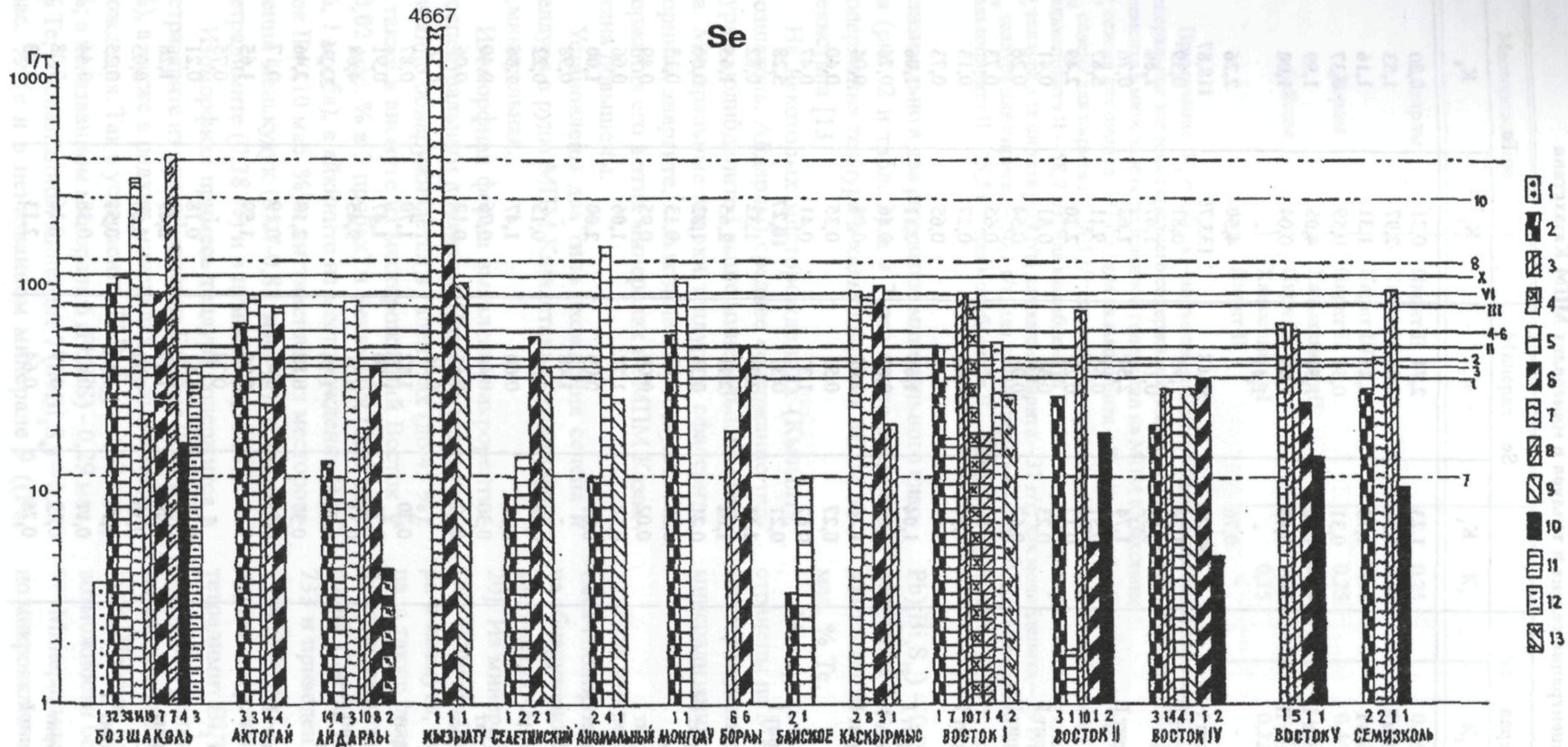


Рис. 1. Содержание селена в рудных минералах медно-порфировых месторождений Казахстана.

Условные обозначения к рис. 1 и 2.

По вертикали — содержание элемента в минералах в г/т. Масштаб логарифмический. По горизонтали — минералы. Внизу цифры — количество проанализированных проб каждого минерала, ниже — название месторождения. Минералы: 1 — магнетит; 2 — пирит I; 3 — пирит II; 4 — пирит IV; 5 — халькопирит I; 6 — халькопирит II; 7 — молибденит I; 8 — молибденит II; 9 — борнит II; 10 — сфалерит; 11 — галенит; 12 — энаргит; 13 — халькозин. Горизонтальные прямые: 1 — среднее содержание элемента в пирите I; 2 — среднее содержание элемента в пирите II; 3 — среднее содержание элемента в пирите МПМ Казахстана; 4 — среднее содержание элемента в халькопирите I; 5 — среднее содержание элемента в халькопирите II; 6 — среднее содержание элемента в халькопирите МПМ Казахстана; 7 — среднее содержание элемента в сфалерите медно-порфировых месторождений Казахстана; 8 — среднее содержание элемента в молибдените I; 9 — среднее содержание элемента в молибдените II; 10 — среднее содержание элемента в молибдените МПМ Казахстана.

II — минеральный кларк элемента в галените

III — минеральный кларк элемента в пирите

VI — минеральный кларк элемента в халькопирите

X — минеральный кларк элемента в молибдените



Таблица 3. Степень концентрации селена и теллура в минералах МПМ Казахстана

Месторождение	Минерал	Se		Te	
		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Бозшаколь	Пирит I	1,23	2,74	0,21	0,20
	Халькопирит I	1,36	2,04	2,97	1,53
	Молибденит I	2,73	2,25	1,31	1,16
	Пирит II	0,31	0,56	0,59	0,37
	Халькопирит II	1,06	1,56	4,05	1,99
	Молибденит II	3,45	1,00	0,04	1,00
	Сфалерит	-	1,41	-	-
	Галенит	0,76	-	4,50	2,26
Кызылту	Молибденит I	42,43	35,62	133,79	118,87
	Халькопирит II	1,74	1,95	0,81	0,39
Аномальный	Пирит I	0,35	0,16	1,47	1,66
	Халькопирит I	1,74	2,54	1,62	0,76
	Пирит II	0,31	0,56	9,11	5,67
Селетинский	Пирит I	0,12	0,27	2,20	2,49
	Халькопирит I	0,23	0,34	0,81	0,41
	Халькопирит II	0,67	0,98	0,54	0,26
Монгол V	Пирит I	-	-	0,65	0,73
	Халькопирит I	1,16	1,66	0,27	0,13
Каскырмыс	Пирит I	-	-	0,65	0,73
	Халькопирит I	1,04	1,66	2,11	1,06
	Молибденит I	0,80	0,67	0,86	0,76
	Халькопирит II	1,10	1,62	0,08	0,04
	Пирит II	0,27	0,51	0,35	0,40
	Пирит I	0,62	1,37	0,41	0,47
Восток I	Халькопирит I	0,21	0,31	10,27	5,28
	Пирит II	1,11	2,09	1,32	0,82
	Пирит IV	1,02	2,11	2,65	1,65
	Халькопирит IV	0,21	0,31	1,22	0,60
	Пирит I	0,37	0,82	0,13	0,15
Восток II	Халькопирит I	0,02	0,09	0,95	0,49
	Пирит II	0,54	1,77	1,06	0,66
	Халькопирит II	0,07	0,09	2,00	1,00
	Сфалерит	-	1,48	-	0,98
	Пирит I	0,26	0,63	0,15	0,22
Восток IV	Пирит II	0,32	0,60	1,47	1,66
	Халькопирит I	0,30	0,44	0,76	0,40
	Халькопирит II	0,37	0,54	0,12	0,06
	Сфалерит	-	0,26	-	0,36
	Халькопирит I	0,70	1,02	1,70	0,87
Восток V	Пирит II	0,73	1,00	1,47	0,91
	Халькопирит II	0,33	0,51	9,45	4,64
	Сфалерит	-	1,12	-	33,96
	Пирит I	0,37	0,82	2,18	2,46
Семизколь	Молибденит I	0,55	0,45	0,19	0,17
	Пирит II	1,11	2,09	1,59	1,65
	Сфалерит	-	0,74	-	0,75
	Пирит I	0,73	1,61	0,18	0,21
Актогай	Халькопирит I	1,00	1,50	2,49	1,28
	Пирит II	0,36	0,72	0,08	0,05
	Халькопирит II	0,94	1,40	0,51	0,25
	Пирит I	0,17	0,41	0,38	0,44
Айдарлы	Халькопирит I	0,12	0,17	0,16	0,08
	Молибденит I	0,76	0,64	2,13	1,83



Продолжение табл. 3

Месторождение	Минерал	Se		Te	
		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Айдарлы	Пирит II	0,25	0,46	0,58	0,37
	Халькопирит II	0,46	0,66	0,59	0,39
	Пирит III	0,04	0,07	-	-
Борлы	Пирит II	0,25	0,46	0,04	0,03
	Халькопирит II	0,56	0,85	0,03	0,02
Байское	Пирит I	0,01	0,06	0,12	0,13
	Халькопирит I	0,15	0,22	0,08	0,04
	Пирит II	-	-	0,07	0,08

Примечание:  $K_1 = x/O_1$ ;  $x$  – значение среднего содержания элемента в минерале определенного месторождения;  $O_1$  – генеральное значение среднего содержания (минеральный кларк) элемента в минерале.  $K_2 = x/x_{cp}$ ;  $x_{cp}$  – среднее содержание элемента в минерале определенной генерации на МПМ Казахстана;

$O_1$  селена для пирита – 81 г/т; для халькопирита – 86 г/т; для молибденита – 110 г/т; для галенита – 55 г/т.

$x_{cp}$  селена для пирита I – 36,5 г/т; для халькопирита I – 58,9 г/т; для молибденита I – 131,0 г/т; для пирита II – 43,1 г/т; для халькопирита II – 58,7 г/т; для молибденита II – 380 г/т; для сфалерита – 13,5 г/т; для галенита – 40,6 г/т.

$O_1$  теллура для пирита – 34 г/т; для халькопирита – 37 г/т; для молибденита – 29 г/т; для галенита – 20 г/т.

$x_{cp}$  теллура для пирита I – 30,1 г/т; для халькопирита I – 72,6 г/т; для молибденита I – 32,7 г/т; для пирита II – 43,1 г/т; для халькопирита II – 75,5 г/т; для молибденита II – 1,2 г/т; для сфалерита – 13,2 г/т; для галенита – 89,8 г/т.

близительно в два раза выше минерального кларка (рис. 2 и табл. 3) и в 7 раз выше среднего содержания теллура в халькопиритах МПМ Узбекистана [13].

На некоторых месторождениях (Кызылту, Бозшаколь, Айдарлы) среднее содержание теллура в молибдените I выше минерального кларка. Минеральные кларки теллура в сфалерите, борните, энаргите, халькозине отсутствуют. Содержание его в этих минералах на МПМ Казахстана повышены.

Установлены два типа вхождения селена и теллура в руды МПМ Казахстана – изоморфная и минеральная.

Изоморфная форма выявлена микрорентгеноспектральным анализом. Примесь селена постоянно обнаруживается в галенитах (до 45%), а также в висмуте из месторождений Восток V (0,02 мас. % в 3 пробах) и Кенькудук (0,29 мас. %, 1 проба), в айкините из месторождения Восток II (0,10 мас. %) и виттихените из месторождения Кенькудук (0,07-0,88 мас. %), а также в тетрадимите (0,38%) и в цумоните (0,36%).

Изоморфная примесь теллура содержится в тетрадрите из месторождения Байское (0,67 мас. %), а также в редких минералах из этого месторождения. Так в устарасите ( $PbBi_6S_{10}$ ) – 0,32 мас. %; в неназванном минерале 6 ( $PbBiS$ ) – 0,29 мас. % Te; в неназванном минерале 7 ( $PbBi_5S_4$ ) – 0,21 мас. % Te и в неназванном минерале 9 ((Fe,

$Pb)_3Bi_3S_{10}$ ) – 0,01 мас. % Te. Айкинит из месторождения Каскырмыс содержит 0,22 мас. % Te, а виттихенит из месторождения Кенькудук – 0,04 мас. % Te.

Минеральные формы теллура широко распространены на МПМ Казахстана. Впервые на этих месторождениях нами установлена селеновая минерализация.

### Минералы теллура

При микроскопическом изучении свыше 5 тысяч полированных шлифов из МПМ Казахстана обнаружено большое количество минеральных микровключений, в том числе и для теллура [19, 20]. Из минералов теллура установлены теллур самородный, теллуриды золота и серебра, серебра и висмута, висмута, свинца и висмута, свинца, а также палладия и платины. Имеются сульфотеллуриды висмута и свинца и сложные сульфиды. Состав их получен на микрозонде JСХА-733 и приведен в таблице 4. Всего для теллура установлено 22 минеральных вида. Из них чаще других встречаются гессит  $Ag_2Te$ , алтаит  $PbTe$ , тетрадимит  $Bi_2Te_2S$  и ингодит  $Bi_3Te_4$ . Остальные минералы редкие. Среди них пять являются новыми, для них отсутствуют сведения в литературе. Но они остались неназванными из-за невозможности более детального исследования.

Минералы теллура образуют преимущественно микровключения (1-10 мкм) в пирите II и халь-



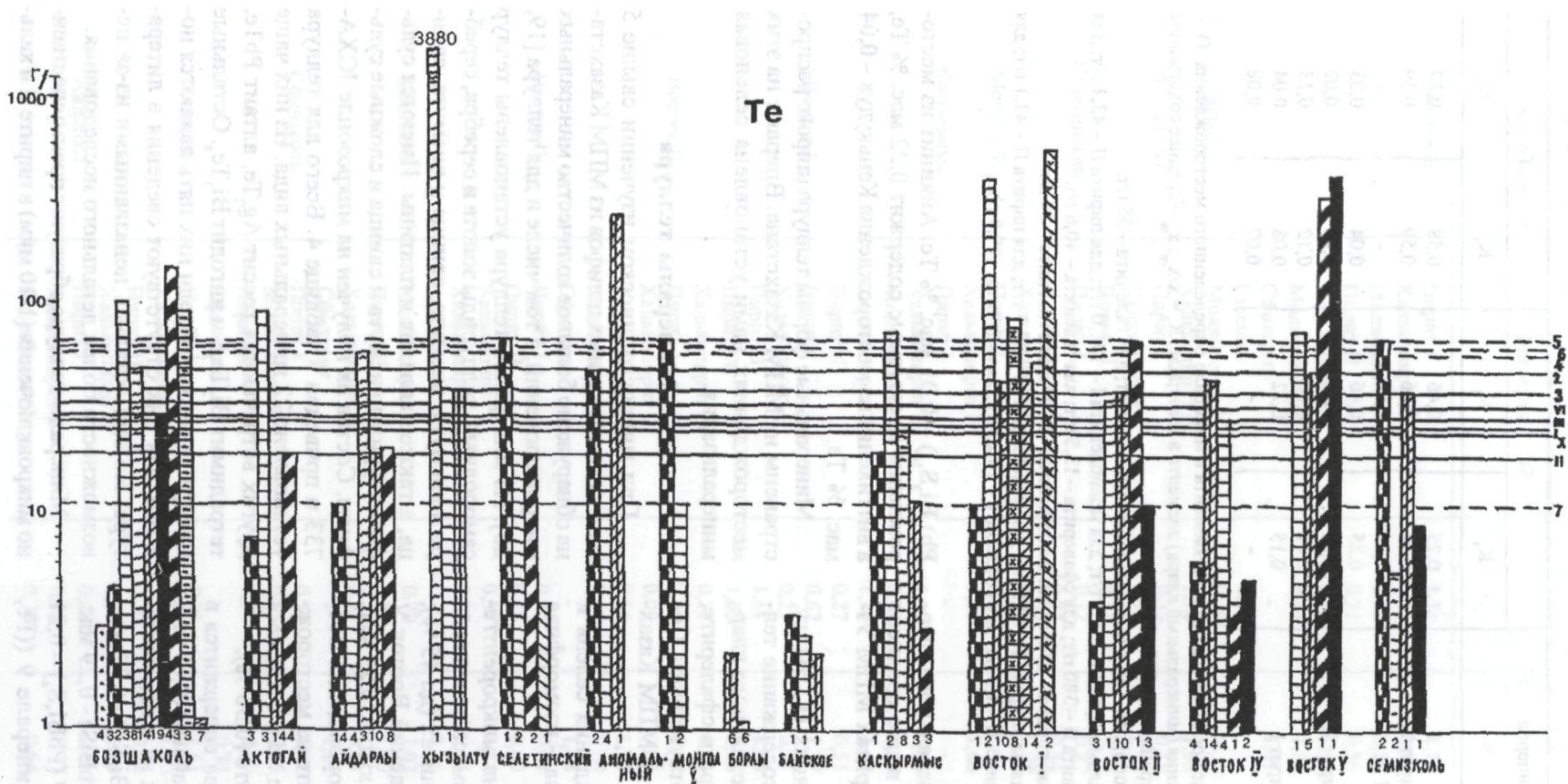


Рис. 2. Содержание теллура в рудных минералах медно-порфировых месторождений Казахстана. Условные обозначения см. на рис. 1.



копирите II кислотной стадии. Встречаются также в виде небольших (до 20-30, редко до 40 мкм) гнезд среди сфалерита, галенита, халькопирита и кварца поздних халькопирит-сфалеритовых, пирит-галенитовых и кальцит-кварц-галенит-сфалерит-пиритовых прожилков. Реже они отмечаются среди пирита I и халькопирита I ранней (щелочной) стадии. Теллуриды же палладия и платины установлены только в рудах первой стадии. Они образуют включения в пирите I и в каплевидных выделениях халькопирита в нем.

Для теллуридов обычны сростки двух-трех и более минералов между собой, а также с халькопиритом, галенитом, иногда с пирротинном.

Под микроскопом в отраженном свете большинство минералов имеют белый или светло-серый цвет с четкими розоватыми, кремоватыми или желтоватыми оттенками. Для некоторых минералов характерен практически чисто белый цвет со слабым зеленоватым (алтаит) или голубоватым (эмпрессит, неназванный-6) оттенками. Гессит имеет серый или светло-серый цвет с сиреневатым или коричневатым оттенком. Меренскит – ярко-белый.

Большая часть минералов обладает двуотражением и анизотропией. Изотропны лишь алтаит, неназванный-3 и теннантит-голдфилдит. Для гессита установлены как анизотропные, так и изотропные модификации.

Рельеф минералов обычно ниже, чем у пирита, халькопирита и даже галенита. Лишь у тетрадимита он близок галениту. Наиболее высоким рельефом обладает теллурид палладия меренскит – выше, чем у халькопирита, но ниже, чем у пирита.

Замеренная микротвердость вдавливания равна (кгс/мм<sup>2</sup>): для гессита 69-73, алтаита – 46, раклиджита – 60-79, неназванного-1 – 54-80, волинскита – 41-80 и 83-105.

Дебаеграмму удалось получить только для алтаита (без примесей): 3,219(10), 2,271(9), 1,859(5), 1,439(7), 1,069(5), 1,020(4),  $Q_0 = 6,426 \pm 0,007 \text{ \AA}$ ;  $V_0 = 265,3 \pm 0,89 \text{ \AA}$ .

### Минералы селена

Наиболее часто и в наибольших количествах селен отмечается в галенитах, которые являются начальными членами ряда непрерывного твердого раствора галенит-клаусталит (табл. 5). На месторождении Коксай был обнаружен проме-

жуточный член этого ряда – галеноклаусталит  $Pb(S, Se)$ .

*Галеноклаусталит  $Pb(S, Se)$*  как и начальные члены ряда галенит-клаусталит, находится в поздней хлорит-карбонат-кварц-халькопиритовой ассоциации кислотной стадии минералообразования. На месторождении Коксай он образует сростания с зернами халькопирита, секущего по трещинам пирит, а также развит среди нерудного минерала в контактах пирита с галенитом. В отраженном свете галеноклаусталит голубовато-белый, изотропный. Относительный рельеф его ниже, чем у пирита и халькопирита.

По данным А. А. Годовикова [2] имеются экспериментальные работы, доказывающие непрерывный переход от  $PbS$  к  $PbSe$ . Известны находки отдельных членов ряда галенит-клаусталит [11, 25] и только R. G. Coleman [17] исследовал весь ряд этих минералов. В МПМ галеноклаусталит впервые найден на месторождении Алмалык в Узбекистане [18]. Первая находка минералов селена в МПМ Казахстана была сделана в 1988 г. [1].

На месторождениях Казахстана имеются промежуточные члены ряда, близкие к галениту (Айдарлы, Бозшаколь, Байское, Кенькудук, Каскырмыс) и с преобладанием селена над серой (Коксай). В исследованных зернах отмечено преобладание катионов над анионами. Обращает на себя внимание большое содержание меди (см. ан. 2, табл. 5) и железа (см. ан. 10, табл. 5) в отдельных пробах. Возможно, это новые минеральные виды, но пока не имеется никакой возможности провести рентгеноструктурные исследования вследствие тонкости зерен изучаемых минералов.

На месторождении Кенькудук в рудах щелочной стадии найдены 2 неназванных минерала селена. В отличие от других МПМ, руды щелочной стадии этого месторождения характеризуются почти полным отсутствием пирита. Минералы селена образуют сростки размером ~ 10x25 мкм в прожилках калишпат-кварцевого состава с халькопиритом среди калишпатизированного гранита.

*Неназванный минерал-7* в отраженном свете кремово-белый со слабым фиолетовым оттенком. Он состоит из агрегата ксеноморфных зерен размером 1-3 мкм в поперечнике, вытянутых в одном направлении, что хорошо видно в



Таблица 4. Минералы теллура и их состав, мас. %

№ п/п	Минерал	Ag	Au	Bi	Pb	Fe	Cu	Zn	Te	Se	S	Сумма	Месторождение
Самородные													
1	Теллур самородный	-	-	-	-	1,67	-	-	99,94	-	-	101,61	Восток II
Теллуrowисмутиды Pd и Pt													
2	Котульскит Pd(Te <sub>x</sub> Bi <sub>y</sub> ) <sub>1-2</sub>		Pd+	+					+				Бозшаколь
3	Меренскит (Pd, Pt)(Te, Bi) <sub>2</sub> ·PdTe <sub>2</sub>		Pd+	+	Pt+				+				Бозшаколь
Теллуриды серебра													
4	Гессит I Ag <sub>2</sub> Te	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-		Бозшаколь
5	Гессит I (*	60,00	-	-	-	1,50	0,50	-	35,00	-	Sb 2,00	99,00	Бозшаколь
6	Гессит II	60,00	-	-	-	-	-	-	40,00	-	-	100,00	Бозшаколь
7	Гессит II'	62,00	-	-	-	-	-	-	34,00	-	-	96,00	Бозшаколь
8	Гессит II'	59,00	-	-	-	-	-	-	38,00	-	-	97,00	Бозшаколь
9	Гессит II'	61,44	-	-	-	0,87	0,17	0,21	36,71	-	0,86	100,26	Бозшаколь
10	Гессит II'	60,94	-	-	-	-	0,04	1,81	37,07	-	0,07	99,93	Бозшаколь
11	Гессит II	59,43	-	-	-	-	-	-	40,20	-	-	99,63	Айдарлы
12	Гессит II	57,96	-	-	-	-	-	-	40,94	-	-	98,90	Айдарлы
13	Гессит II	62,41	-	-	-	-	-	-	37,81	-	-	100,22	Коксай
14	Гессит II	60,50	-	-	-	0,52	-	-	38,55	-	-	97,20	Восток III
15	Гессит II	62,01	-	-	-	-	-	-	38,42	-	-	100,43	Байское
16	Эмпрессит Ag <sub>5-x</sub> Te <sub>3</sub>	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-		Айдарлы
Теллуриды Ag и Au													
17	Сильванит AuAgTe <sub>4</sub>	11,80	30,00	-	-	-	-	-	58,00	-	-	99,80	Бозшаколь
Теллуриды Ag и Bi													
18	Волынскит AgBiTe <sub>2</sub>	17,32	-	36,41	-	-	-	-	44,84	-	-	98,57	Айдарлы
19	Волынскит AgBiTe <sub>2</sub>	13,25	-	38,93	-	-	-	1,43	45,74	-	-	99,35	Айдарлы



№ п/п	Минерал	Ag	Au	Bi	Pb	Fe	Cu	Zn	Te	Se	S	Сумма	Месторождение
20	Неназванный-1 $\text{AgBi}_2\text{Te}_4$	9,42	-	41,94	-	-	-	-	49,18	-	-	100,55	Айдарлы
Теллуриды висмута													
21	Теллуrowисмутит $\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-	-	50,00	-	-	-	-	50,00	-	-	100,00	Бозшаколь
22	Теллуrowисмутит $\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-	-	49,97	1,79	2,04	-	-	45,40	-	0,27	99,46	Байское
23	Цумоит $\text{Bi}_2\text{Te}_2$	0,17	-	62,81	0,23	-	-	-	35,08	0,36	-	98,71	Кенькудук
Теллуриды Pb и Bi													
24	Раклиджит $\text{PbBi}_2\text{Te}_4$	-	-	38,95	14,65	-	-	-	45,59	-	-	99,19	Айдарлы
Теллуриды свинца													
25	Алтайт $\text{PbTe}$	-	-	-	60,00	-	-	-	40,00	-	-	100,00	Бозшаколь
26	Алтайт $\text{PbTe}$	-	-	-	62,36	-	-	-	37,04	-	-	99,40	Айдарлы
27	Алтайт $\text{PbTe}$	-	-	0,55	60,35	-	-	-	38,41	-	-	99,31	Айдарлы
28	Неназванный-2 $\text{Pb}_2\text{Te}_3$	-	-	-	51,12	-	-	-	46,44	-	-	97,56	Айдарлы
29	Неназванный-3 $\text{PbTe}_2$	-	-	-	46,36	-	-	-	52,59	-	-	98,95	Айдарлы
Сульфотеллуриды Bi; Ag, Bi; Pb													
30	Тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	-	-	57,73	-	1,11	-	-	35,70	-	4,28	98,82	Айдарлы
31	Тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	-	-	55,30	-	2,46	3,23	-	33,89	-	4,64	99,52	Айдарлы
32	Тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	-	-	54,38	3,23	1,92	-	-	31,01	-	4,39	96,93	Айдарлы
33	Тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$	0,04	-	56,85	-	1,02	0,08	Sb 0,18	34,02	0,38	4,78	97,51	Восток II
34	Сульфоцумоит $\text{Bi}_3\text{Te}_2\text{S}$	-	-	56,27	-	1,92	2,75	-	32,11	-	3,65	96,70	Коксай
35	Жозеит А (?) $\text{Bi}_4\text{TeS}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,00	Восток V
36	Неназванный-4 (**)	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	Айдарлы
37	Неназванный-5 $\text{Pb}_2\text{TeS}$	-	-	-	66,54	-	-	-	22,15	-	4,75	93,44	Айдарлы



№ п/п	Минерал	Ag	Au	Bi	Pb	Fe	Cu	Zn	Te	Se	S	Сумма	Месторождение
Теллуриды висмута													
38	Ингодит $\text{Bi}_3\text{Te}_4$	-	-	56,79	3,12	0,19	-	-	34,74	-	4,05	98,89	Байское
39	Ингодит $\text{Bi}_3\text{Te}_4$	-	-	56,19	3,01	2,83	-	-	23,81	-	5,00	100,01	Байское
40	Ингодит $\text{Bi}_3\text{Te}_4$	-	-	55,65	2,24	1,92	-	-	35,07	-	3,74	98,64	Байское
41	Ингодит $\text{Bi}_3\text{Te}_4$	-	-	58,53	-	1,51	-	-	34,21	-	5,13	98,38	Байское
42	Неназванный-6 $\text{Bi}_5\text{Te}_7$	-	-	48,49	-	3,64	-	-	43,90	-	1,19	97,22	Байское
43	Неназванный-6 $\text{Bi}_5\text{Te}_7$	-	-	47,63	-	3,06	-	-	43,48	-	2,56	96,77	Байское
44	Неназванный-6 $\text{Bi}_5\text{Te}_7$	-	-	49,62	-	2,63	-	-	44,89	-	1,02	98,16	Байское
Сложные сульфиды													
45	Теннантит-голдфилдит $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13} - \text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{Te}_2\text{S}_{16}$	-	-	-	-	2,80	44,83	-	16,91	As 7,18 Sb 1,76	25,37	98,85	Бозшаколь

Рассчитанные формулы: 1 -  $\text{Te}_{0,97}\text{Fe}_{0,03}$ ; 5 -  $(\text{Ag}_{1,89}\text{Fe}_{0,09}\text{Cu}_{0,03})_{2,01}(\text{Te}_{0,90}\text{Sb}_{0,06})_{0,96}$ ; 6 -  $\text{Ag}_{1,92}\text{Te}_{1,08}$ ;  
 7 -  $\text{Ag}_{2,05}\text{Te}_{0,95}$ ; 8 -  $\text{Ag}_{1,94}\text{Te}_{1,06}$ ; 9 -  $(\text{Ag}_{1,89}\text{Fe}_{0,05}\text{Cu}_{0,01}\text{Zn}_{0,01})_{1,96}(\text{Te}_{0,95}\text{S}_{0,09})_{1,04}$ ; 10 -  $(\text{Ag}_{1,91}\text{Zn}_{0,09})_{2,00}(\text{Te}_{0,99}\text{S}_{0,01})_{1,00}$ ;  
 11 -  $\text{Ag}_{1,91}\text{Te}_{1,09}$ ; 12 -  $\text{Ag}_{1,88}\text{Te}_{1,12}$ ; 13 -  $\text{Ag}_{1,98}\text{Te}_{1,02}$ ; 14 -  $(\text{Ag}_{1,93}\text{Fe}_{0,03})_{1,96}\text{Te}_{1,04}$ ; 15 -  $\text{Ag}_{1,97}\text{Te}_{1,03}$ ; 17 -  $\text{Au}_{1,28}\text{Ag}_{0,92}\text{Te}_{3,80}$ ;  
 18 -  $\text{Ag}_{0,94}\text{Bi}_{1,02}\text{Te}_{2,05}$ ; 19 -  $(\text{Ag}_{0,71}\text{Zn}_{0,13})_{0,84}\text{Bi}_{1,08}\text{Te}_{2,08}$ ; 20 -  $\text{Ag}_{0,91}\text{Bi}_{2,06}\text{Te}_{4,04}$ ; 21 -  $\text{Bi}_{1,90}\text{Te}_{3,10}$ ;  
 22 -  $(\text{Bi}_{1,84}\text{Fe}_{0,28}\text{Pb}_{0,07})_{2,19}(\text{Te}_{2,75}\text{S}_{0,06})_{2,81}$ ; 23 -  $(\text{Bi}_{2,06}\text{Pb}_{0,01}\text{Ag}_{0,01})_{2,08}(\text{Te}_{1,89}\text{Se}_{0,03})_{1,92}$ ; 24 -  $\text{Pb}_{0,80}\text{Bi}_{2,13}\text{Te}_{4,07}$ ; 25 -  $\text{Pb}_{0,96}\text{Te}_{1,04}$ ;  
 26 -  $\text{Pb}_{1,02}\text{Te}_{0,98}$ ; 27 -  $(\text{Pb}_{0,98}\text{Bi}_{0,01})_{0,99}\text{Te}_{1,01}$ ; 28 -  $\text{Pb}_{2,02}\text{Te}_{2,98}$ ; 29 -  $\text{Pb}_{1,06}\text{Te}_{1,94}$ ; 30 -  $(\text{Bi}_{1,95}\text{Fe}_{0,14})_{2,09}\text{Te}_{1,97}\text{S}_{0,94}$ ;  
 31 -  $(\text{Bi}_{1,72}\text{Fe}_{0,29}\text{Cu}_{0,33})_{2,34}\text{Te}_{1,72}\text{S}_{0,94}$ ; 32 -  $(\text{Bi}_{1,84}\text{Fe}_{0,24}\text{Pb}_{0,11})_{2,19}\text{Te}_{1,83}\text{S}_{0,97}$ ; 33 -  $(\text{Bi}_{1,93}\text{Fe}_{0,13}\text{Cu}_{0,01})_{2,07}(\text{Te}_{1,89}\text{Se}_{0,04}\text{Sb}_{0,01})_{1,94}\text{S}_{0,99}$ ;  
 34 -  $(\text{Bi}_{2,27}\text{Cu}_{0,36}\text{Fe}_{0,29})_{2,92}\text{Te}_{2,12}\text{S}_{0,96}$ ; 37 -  $\text{Pb}_{2,15}\text{Te}_{1,17}\text{S}$ ; 38 -  $(\text{Bi}_{2,76}\text{Pb}_{0,16}\text{Fe}_{0,03})_{2,95}(\text{Te}_{2,76}\text{S}_{1,29})_{4,05}$ ;  
 39 -  $(\text{Bi}_{2,46}\text{Fe}_{0,47}\text{Pb}_{0,13})_{3,09}(\text{Te}_{2,46}\text{S}_{1,45})_{3,91}$ ; 40 -  $(\text{Bi}_{2,65}\text{Fe}_{0,34}\text{Pb}_{0,11})_{3,10}(\text{Te}_{2,74}\text{S}_{1,16})_{3,90}$ ; 41 -  $(\text{Bi}_{2,67}\text{Fe}_{0,26})_{2,93}(\text{Te}_{2,55}\text{S}_{1,52})_{4,07}$ ;  
 42 -  $(\text{Bi}_{4,10}\text{Fe}_{1,15})_{5,25}(\text{Te}_{6,09}\text{S}_{0,66})_{6,75}$ ; 43 -  $(\text{Bi}_{3,88}\text{Fe}_{0,94})_{4,82}(\text{Te}_{5,82}\text{S}_{1,36})_{7,18}$ ; 44 -  $(\text{Bi}_{4,26}\text{Fe}_{0,85})_{5,11}(\text{Te}_{6,32}\text{S}_{0,57})_{6,89}$ ;  
 45 -  $(\text{Cu}_{11,44}\text{Fe}_{0,81})_{12,25}(\text{Te}_{2,15}\text{As}_{1,55}\text{Sb}_{0,23})_{3,93}\text{S}_{12,82}$ .

Примечания: (\* - гессит I - из пирротин-халькопирит-пиритовой ассоциации щелочной стадии,  
 гессит Г - из пренит-халькопиритовой ассоциации щелочной стадии,  
 гессит II - из халькопирит-сфалеритовой ассоциации кислотной стадии,  
 гессит П' - из пирит-галениитовой ассоциации кислотной стадии,

(\*\* - качественный микронзондовый анализ.

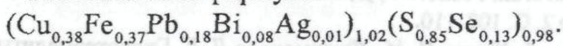


Таблица 5. Химический состав селеносодержащих, селенистых галенитов и галеноклаусталита (мас. %) из МПМ Казахстана

№ ан.	Месторождение	Минерал	Элементы					Сумма
			Формульные коэффициенты					
			Pb	Se	S	Другие примеси		
1	Бозшаколь	Висмутистый галенит	80,67 0,90	0,04 -	13,88 0,99	Fe 0,11; Cu 0,08; 0,04 - Bi 2,40; Ag 0,81 0,031 0,02	98,99	
2	Бозшаколь	Медистый галенит	77,24 0,81	1,66 0,05	12,77 0,87	Fe 1,45; Cu 6,23 0,06 0,21	99,35	
3	Бозшаколь	Железисто-медисто-селенистый галенит	78,50 0,90	4,47 0,13	11,16 0,83	Fe 1,34; Cu 1,99; 0,06 0,07 Bi 0,53; Ag 0,05 0,01 -	98,04	
4	Бозшаколь	Железисто-медисто-селенистый галенит	81,44 0,94	4,58 0,14	10,93 0,81	Fe 1,10; Cu 1,68 0,05 0,06	99,73	
5	Айдарлы	Висмут-селеносодержащий галенит	85,41 1,02	0,59 0,02	12,15 0,93	Fe 0,46; Cu 0,28; 0,02 0,01 Bi 0,14 -	99,03	
6	Восток IV	Селеносодержащий галенит	84,39 0,99	0,65 0,03	12,48 1,01	Fe 0,54; Cu 0,66; 0,02 0,03 Ag 0,08 0,02	98,80	
7	Байское	Висмутисто-серебристо-селенистый галенит	82,12 0,89	1,54 0,03	14,36 1,01	Fe 0,94; Bi 1,14; 0,04 0,01 Ag 1,07 0,02	101,17	
8	Кенькудук	Селенистый галенит	84,92 0,99	1,81 0,06	11,95 0,91	Fe 0,14; Cu 0,91 0,01 0,03	99,73	
9	Каскырмыс	Селенистый галенит	82,58 0,97	4,39 0,14	11,29 0,86	Fe 0,34; Cu 0,50 0,01 0,02	99,10	
10	Коксай	Галлийсодержащий железистый галеноклаусталит	67,58 0,75	17,08 0,50	6,42 0,46	Fe 6,46; Ga 0,80 0,20 0,03	98,34	

скрещенных николях при больших увеличениях микроскопа в масляной иммерсии. Двухотражение слабое. Анизотропия с цветным эффектом от красновато-коричневого до голубоватого тона. Микротвердость вдавливания – 290 кгс/мм<sup>2</sup> (P – 20 г, n = 2). Исследования на микроанализаторе установили гомогенность минерала. Химический состав его следующий (мас. %): Cu – 17,71; Fe – 15,20; Pb – 27,31; Bi – 11,84; Ag – 0,27; Se – 7,51; S – 19,83; сумма – 99,67, т. е. это серебро-содержащий сульфоселенид меди, железа, висмута с отношением суммы металлов к сумме анионов как 1:1 и S:Se как 6,3:1.

Рассчитанная формула:



Получена дебаграмма минерала. Условия съемки: резиновый шарик d – 0,4 мм, U – 30 кВ, J – 20 ма, излучение Co, фильтр – Fe. Время – 22 часа.

Основные линии следующие: 7,25166 (10); 3,55571 (70); 3,353863 (50); 3,10993 (10); 3,03092 (100); 2,52968 (10); 2,14472 (20).

Данные о подобном минерале в литературе отсутствуют.

**Незванный минерал-8** в отраженном свете серый. Он образует скопления тонких (< 1 мкм в поперечнике) удлиненных зерен, ориентированных субпараллельно друг другу и внедряющихся в незванный - 7. Только в единичных случаях размер зерен этого минерала достигает 2 мкм в поперечнике. Он имеет сильное двухотражение с плеохроизмом от серого до темно-серого цвета перпендикулярно удлинению зерен. Анизотропия с цветным эффектом от темно-голубовато-серого до ярко-желтого. В масле плеохроизм изменяется от темно-серого до коричневатого-серого цвета, эффекты анизотропии от темно-серого



до желтовато-серого тона. Относительный рельеф выше, чем у неназванного - 7 и висмутина.

Удалось получить только полуколичественный анализ состава минерала (мас. %): Pb - 7,15; Fe - 20,67; Bi - 21,34; Ag - 9,13; Cu - 7,33; Se - 7,69; S - 8,00; сумма - 81,30. Минерал является сульфоселенидом железа, меди, висмута, серебра и свинца.

Гипотетическая формула его -  $Fe_3CuBi(Ag, Pb)(S, Se)_3$ . Этот минерал также не имеет аналогов среди известных.

Таким образом:

1 - Установлено отсутствие Te во всех подстилающих свитах месторождения Бозшаколь.

2 - Выявлено более интенсивное накопление теллура в рудном процессе, чем серы и селена, причем оно увеличивается к концу процесса (отношение Se:Te уменьшается в минеральных ассоциациях кислотной и ультракислотной стадий).

3 - Выявлена геохимическая специализация на селен рудных минералов месторождений Бозшаколь, Кызылту, Аномальный, Монгол V и Каскырмыс, а на теллур - рудных минералов выше-названных месторождений и некоторых минералов Куйган-Майбулакского рудного поля, месторождений Актогай и Айдарлы.

4 - Обнаружены изоморфные и минеральные формы вхождения теллура и селена в руды.

5 - Теллуровая минерализация представлена многими группами (от самородного теллура до сложных сульфидов, теллуридов и сульфотеллуридов). Выявлены новые, пока неназванные минералы. Впервые на МПМ установлены ассоциации теллуридов, известные ранее только для золоторудных (цумоит  $Bi_2Te_2$ , волинскит  $AgBiTe_2$ ) или медно-никелевых (теллуриды палладия) месторождений.

Присутствие на месторождении Бозшаколь котульскита и меренскита показывает, что даже при минимальном содержании элементов группы платины в рудах (как в медно-порфировом типе) они образуют собственные минеральные формы. Вероятнее всего они находятся в тонкодисперсном состоянии на грани разрешающей способности светового микроскопа.

6 - Впервые на МПМ Казахстана обнаружена селеновая минерализация (месторождение Кенькудук). Она представлена начальными членами ряда галенит-клаусталит и галеноклаусталитом, где селен преобладает над серой, а так-

же двумя неназванными сульфоселенидами меди, железа, свинца, висмута и серебра. Селеновая минерализация Кенькудука не имеет аналогов в других месторождениях мира. Некоторый дефицит серы, который создавался в рудах щелочной стадии (где установлено почти полное отсутствие пирита) привел к образованию этих минеральных форм.

7 - Минералы теллура в рудах первой (щелочной) стадии минералообразования встречаются редко, причем представлены преимущественно сульфотеллуридами. В рудах второй (кислотной) стадии развиты, кроме того, теллуриды серебра, висмута и свинца.

8 - Установленные в рудах Бозшаколя изотропные модификации гессита могут служить геотермометром при расшифровке процессов минералообразования определенных парагенетических ассоциаций, так как температура инверсии кубического гессита в моноклинный равна  $155^\circ$ .

9 - Микроскопическими исследованиями установлено, что большая часть теллуровой и селеновой минерализации заключена в пирите и халькопирите, являющимися основными минералами МПМ. Следовательно, этими элементами будут обогащены промышленные концентраты названных минералов, что необходимо учитывать при технологическом переделе руд. Часть минералов теллура и селена, заключенных в сфалерите, галените, в жильных минералах или находящихся в контакте между рудными и жильными минералами будет теряться при измельчении руд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герцен Л. Е., Котельников П. Е., Еремеева Е. Я. Первая находка минералов селена на медно-порфировых месторождениях Казахстана. Изв. АН КазССР, сер. геол. 1988. № 3. С. 45-49.
2. Годовиков А. А. Минералы ряда висмутин-галенит. Новосибирск. 1965. 183 с.
3. Жуков Н. М., Филимонова Л. Е. Пренит-халькопиритовая рудная ассоциация на медно-порфировом месторождении Актогай. Изв. АН КазССР, сер. геологич. 1979. № 6. С. 53-55.
4. Жуков Н. М., Филимонова Л. Е. Метасоматиты и гипогенное оруденение медно-порфирового месторождения Актогай. Геология рудных месторождений. 1982. Т. XXIV. № 2. С. 102-110.
5. Жуков Н. М., Филимонова Л. Е. Гидротермалиты и оруденение медно-порфировых месторождений Центрального Казахстана. Изв. АН КазССР, сер. геологич. 1982. № 6. С. 31-38.



6. Жуков Н. М. Инфильтрационный метасоматизм и природные колонны гидротермалитов. Алматы: Гылым. 1991. 215 с.
7. Жуков Н. М., Герцен Л. Е. Гипогенное происхождение промышленных руд зоны вторичного сульфидного обогащения медно-порфировых руд. Геология и полезные ископаемые. Экспресс-информация. Алматы. 1994. Вып. 1. С. 1-2.
8. Жуков Н. М., Герцен Л. Е. Новое о гидротермалитах медно-порфировых месторождений Казахстана. Геология Казахстана. 1995. № 3. С. 29-46.
9. Жуков Н. М., Герцен Л. Е. Новые данные по гидротермалитам месторождения Бозшаколь. Геология и разведка недр Казахстана. 1996. № 1. С. 26-30.
10. Иванов В. В., Белевитин В. В., Борисенко Л. Ф. и др. Средние содержания элементов-примесей в минералах. М.: Недра. 1973. 208 с.
11. Коваленкер В. А., Лапутина И. П., Вьяльсов Л. Н. О первой находке минералов ряда галенит-клаусталит в сульфидных медно-никелевых рудах. Геология рудных месторождений. 1971. № 2. С. 98-101.
12. Колесников В. В., Жуков Н. М., Солодилова В. В., Филимонова Л. Е. и др. Медно-порфировые месторождения. Серия: Балхашский сегмент. Алма-Ата. Наука. 1986. 200 с.
13. Минералы Узбекистана. Ташкент. Изд-во АН УзССР. 1983. 280 с.
14. Newberry Reiner J. J. Amer. Miner. 1979. V. 64. № 7-8. P. 758.
15. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: ИЛ. 1962. 1132 с.
16. Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Наука. 1959. 257 с.
17. Coleman R. E. The natural occurrence of galena-clausthalite solid-solution series. Amer. Mineral. 1959. V. 44. № 1-2. P. 166-175.
18. Туресебеков А. Х., Конеев Р. И., Балакин В. В. Селениды и теллуриды медно-порфировых месторождений Алмалыка (Узбекистан). Зап. Узбекист. отд. ВМО. 1985. № 38. С. 36-42.
19. Филимонова Л. Е., Слюсарев А. П. Минералы теллура в рудах медно-молибденового месторождения Бошекуль. В сб.: Минералогия и геохимия Центрального Казахстана и Алтая. Алма-Ата. Наука. 1971. С. 42-51.
20. Филимонова Л. Е., Левин В. А., Абулгазина С. Д., Еремеева Е. Я., Митина В. Ф. Минералы теллура в рудах медно-порфирового месторождения Айдарлы. Зап. ВМО. 1986. Ч. 115. Вып. 4. С. 459-466.
21. Хрущев Н. А., Круглова В. Г., Пенсионерова В. М. Распределение рения, селена и теллура в молибденовых месторождениях Советского Союза. В кн.: «Минеральное сырье». 1960. Вып. 1. С. 86-92.
22. Хуришудян Э. Х., Арутюнян Л. А., Мелексетян В. М. Геохимия. 1969. № 10. С. 1200-1206.
23. Чухров Ф. В., Звягин Б. Б., Ермилова Л. П. и др. Политипы молибденита и их нахождение в рудах. Геология рудных месторождений. 1968. № 2. С. 12-21.
24. Юшко-Захарова О. Е. Геохимия и минералогия селена и теллура в медно-никелевых месторождениях. М. Наука. 1964. 240 с.
25. Юшкин Н. П., Павлов Л. Г. Изоморфный ряд галенит-клаусталит: первая находка промежуточных членов на Новой Земле. Тр. Комифилиала АН СССР. Сыктывкар. 1983. С. 38-44.