

УДК 548.735+549.472.2

Г.В. РОМАНЕНКО, Н.В. ПЕРВУХИНА, С.В. БОРИСОВ, С.А. МАГАРИЛЛ, В.И. ВАСИЛЬЕВ

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КУЗНЕЦОВИТА  $\text{Hg}_3(\text{AsO}_4)\text{Cl}$ 

Уточнена кристаллическая структура редкого гипергенного минерала кузнецовита  $\text{Hg}_3(\text{AsO}_4)\text{Cl}$  (пр. гр.  $P2_13$ ,  $a = 8,379(3) \text{ \AA}$ ,  $V = 588,3(4) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ ,  $d_{\text{выч}} = 8,763 \text{ г/см}^3$ ,  $3,44 < \theta < 24,96^\circ$ ,  $563 I_{hkl}(\text{изм})/211 I_{hkl}$  (независ),  $R_1 = 0,0997$ ,  $wR_2 = 0,2515$ ), строение которого ранее было установлено по порошковым данным. Кристаллическая структура кузнецовита образована анионами  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{AsO}_4)^{3-}$  ( $\text{As}-\text{O}$  1,74(3) и 1,79(1)  $\text{ \AA}$ ) и треугольными катионами  $\text{Hg}_3^{4+}$  ( $\text{Hg}-\text{Hg}$  2,675(5)  $\text{ \AA}$ ,  $\angle \text{HgHgHg}$   $60^\circ$ ). В координационное окружение каждого атома ртути входят два атома ртути, два атома кислорода на коротких расстояниях  $\text{Hg}-\text{O}$  (2,17(3) и 2,28(3)  $\text{ \AA}$ ,  $\angle \text{OHgO}$   $94,3(13)^\circ$ ) и более удаленные атомы кислорода и хлора ( $\text{Hg}-\text{O}$  2,601(6)  $\text{ \AA}$ ,  $\text{Hg}-\text{Cl}$  2,838(9)  $\text{ \AA}$ ), образующие полиэдр неправильной формы, наиболее близкий к тригональной антипризме. В структуре вдоль каждой из координатных осей идет чередование треугольников  $\text{Hg}_3$  и  $\text{AsO}_4$ -тетраэдров. Принимая во внимание только короткие  $\text{Hg}-\text{O}$ -связи (2,17(3) и 2,28(3)  $\text{ \AA}$ ), в структуре можно выделить каркас с полостями, в которых располагаются ионы хлора.

В настоящее время известно большое количество синтетических неорганических соединений и минералов, содержащих ртуть в формальной степени окисления меньше либо равной двум. Эти соединения имеют в своем составе группировки  $\text{Hg}_n^{2+}$  с  $n \geq 2$ . Чаще всего это двухатомные группировки ( $n = 2$ ) — гантели —  $\text{Hg}_2^{2+}$  с расстояниями  $\text{Hg}-\text{Hg}$  около 2,55  $\text{ \AA}$ , но встречаются и линейные или зигзагообразные цепочки [ 1 ]. Известны также соединения с циклическими группами  $\text{Hg}_3^{4+}$  — это минерал терлингуаит  $\text{HgHg}_3\text{O}_2\text{Cl}_2$  [ 2 ] и синтезированный недавно  $\text{Hg}_9(\text{AsO}_4)_4$  [ 3 ]. Кроме того, показано, что  $\text{Hg}_3$ -треугольник существует и в структуре редкого гипергенного минерала кузнецовита  $\text{Hg}_3(\text{AsO}_4)\text{Cl}$ , строение которого было установлено по порошковым данным [ 4 ]. Нами предпринята попытка уточнения кристаллической структуры кузнецовита методом рентгеноструктурного анализа монокристаллов с целью выяснения некоторых деталей строения минерала и проверки правильности химического состава.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Для определения кристаллической структуры кузнецовита первоначально отобран монокристалл темно-коричневого цвета округлой формы (далее I), позднее был выбран еще один светло-коричневый монокристалл (II). Параметры элементарных ячеек монокристаллов уточнены на автодифрактометре Enraf-Nonius CAD-4 по 24 рефлексам (с учетом фриделевских) в интервале углов  $10^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$  (МоК $\alpha$ , графитовый монохроматор). Измерение интенсивностей отражений проведено методом  $\theta/2\theta$ -сканирования по стандартной методике в 1/2 (I) и 1/8 (II) сферы обратного пространства. Анализ массивов отражений подтвердил принадлежность

кристаллов к кубической сингонии с пространственной группой  $P2_13$ ,  $Z = 4$  при составе Hg<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)Cl. В ходе эксперимента было отмечено, что ранее светлокоричневый монокристалл II изменил окраску до темно-коричневой. Поэтому с этого кристалла был получен еще один набор отражений (III) в надежде установить возможные изменения в структуре III по сравнению с II. Однако низкое качество всех монокристаллов не позволило это сделать. Расшифровка структуры, проведенная по всем массивам (SIR92 [ 5 ]), дала одинаковые варианты расположения атомов. Введение учета поглощения по программе DIFABS [ 6 ] и последующее уточнение координат атомов (SHELXL97 [ 7 ]) полноматричным МНК в анизотропном приближении для Hg и As в I и II и Hg, As и Cl в III привело к окончательным значениям  $R$ -факторов, не превышающим 12 %. В настоящее время не установлено других причин, объясняющих довольно высокое значение  $R$ -фактора, кроме уже упоминавшегося низкого качества монокристалльных образцов.

В табл. 1 приведены кристаллографические характеристики и детали эксперимента для трех образцов кузнецовита Hg<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)Cl. Координаты атомов (табл. 2), коэффициенты анизотропных тепловых параметров (табл. 3), значения длин связей и валентных углов (табл. 4) даны для лучшего по  $R$ -фактору эксперимента III.

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические данные и детали эксперимента для трех образцов кузнецовита Hg<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)Cl

	Номер образца		
	I	II	III
Формульный вес	776,14	776,14	776,14
$T$ , К	293(2)	293(2)	293(2)
$\lambda$ , Å	0,71069	0,71069	0,71069
Сингония, пр.гр.	Кубическая, $P2_13$	Кубическая, $P2_13$	Кубическая, $P2_13$
Параметр эл. ячейки $a$ , Å	8,377(10)	8,387(4)	8,379(3)
$V$ , Å <sup>3</sup>	587,8(12)	590,0(5)	588,3(4)
$Z$ ; $d_{\text{выч}}$ , г/см <sup>3</sup>	4, 8,770	4, 8,738	4, 8,763
$\mu(\text{MoK}\alpha)$ , мм <sup>-1</sup>	84,122	82,822	84,062
Область съемки по $\theta$ , град	4,21—24,97	3,44—24,96	3,44—24,96
$I_{\text{изм}}/I_{\text{независ}}$	1866/348	572/209	563/211
$GOOD$	1,130	1,117	1,149
$R$ -фактор ( $I > 2\sigma_I$ )	$R1=0,1228$ , $wR2=0,3024$	$R1=0,1129$ , $wR2=0,2938$	$R1=0,0997$ , $wR2=0,2515$
$R$ -фактор (по всем $I_{hkl}$ )	$R1=0,1254$ , $wR2=0,3041$	$R1=0,1171$ , $wR2=0,2973$	$R1=0,1074$ , $wR2=0,2540$

Т а б л и ц а 2

Координаты ( $\times 10^4$ ) и эквивалентные тепловые параметры атомов ( $\text{Å}^2 \times 10^3$ ) для III при  $U_{\text{экр}} = 1/3(U_{11} + U_{22} + U_{33})$

Атом	$x$	$y$	$z$	$U_{\text{экр}}$
Hg	3961(3)	6416(3)	4429(4)	61(1)
Cl	2298(12)	2298(12)	2298(12)	19(3)
As	9896(5)	9896(5)	9896(5)	45(2)
O(1)	8660(7)	8660(7)	8660(7)	26(11)
O(2)	11050(3)	11010(3)	8570(3)	13(5)

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты анизотропных тепловых параметров атомов ( $\text{\AA}^2 \times 10^3$ ) для III

Атом	$U_{11}$	$U_{22}$	$U_{33}$	$U_{23}$	$U_{13}$	$U_{12}$
Hg	58(1)	38(1)	87(2)	13(1)	-20(1)	16(1)
Cl	19(3)	19(3)	19(3)	3(4)	3(4)	3(4)
As	45(2)	45(2)	45(2)	8(3)	8(3)	8(3)

Т а б л и ц а 4

Длины связей  $d$  ( $\text{\AA}$ ) и валентные углы  $\omega$  (град)

Связь	$d$	Связь	$d$	Связь	$d$
Hg—Hg#4	2,675(5)	As—O(2)#4	1,74(3)	O(1)—Hg#10	2,601(6)
Hg—Hg#5	2,675(5)	As—O(2)#5	1,74(3)	O(1)—Hg#11	2,601(6)
		As—O(2)	1,74(3)	O(1)—Hg#12	2,601(6)
Hg—O(2)#1	2,17(3)	As—O(1)	1,79(1)	O(1)—As	1,79(1)
Hg—O(2)#2	2,28(3)				
Hg—O(1)#3	2,601(6)	Cl—Hg#7	2,838(9)	O(2)—Hg#13	2,17(3)
Hg—Cl#6	2,838(9)	Cl—Hg#8	2,838(9)	O(2)—Hg#14	2,28(3)
		Cl—Hg#9	2,838(9)	O(2)—As	1,74(3)

Угол	$\omega$	Угол	$\omega$
Hg#4—Hg—Hg#5	60,0	O(2)#4—As—O(2)#5	113,5(7)
O(2)#1—Hg—O(2)#2	94,3(13)	O(2)#4—As—O(2)	113,5(8)
O(2)#1—Hg—O(2)#3	74,6(7)	O(2)#5—As—O(2)	113,5(7)
O(2)#2—Hg—O(2)#3	73,0(7)	O(2)#4—As—O(1)	105,1(9)
O(2)#1—Hg—Hg#4	129,7(7)	O(2)#5—As—O(1)	105,1(9)
O(2)#2—Hg—Hg#4	123,2(7)	O(2)—As—O(1)	105,1(9)
O(1)#3—Hg—Hg#4	85,0(2)		
O(2)#1—Hg—Hg#5	98,0(7)	Hg#10—O(1)—Hg#12	94,3(3)
O(2)#2—Hg—Hg#5	158,0(7)	As—O(1)—Hg#11	122,2(2)
O(2)#3—Hg—Hg#5	127,9(2)	As—O(1)—Hg#12	122,1(2)
		Hg#10—O(1)—Hg#11	94,3(3)
O(2)#1—Hg—Cl#6	80,4(7)	Hg#10—O(1)—Hg#12	94,3(3)
O(2)#2—Hg—Cl#6	84,6(7)	Hg#11—O(1)—Hg#12	94,3(3)
O(1)#3—Hg—Cl#6	144,7(2)	As—O(2)—Hg#13	128(1)
Hg#4—Hg—Cl#6	130(1)	As—O(2)—Hg#14	108(1)
Hg#5—Hg—Cl#6	79,6(3)	Hg#13—O(2)—Hg#14	118(1)
Hg#7—Cl—Hg#8	98,5(4)		
Hg#7—Cl—Hg#9	98,5(4)		
Hg#8—Cl—Hg#9	98,5(4)		

Операторы симметрии для генерации эквивалентных атомов:

#1  $-z+1, x-1/2, -y+3/2$ ; #2  $-x+3/2, -y+2, z-1/2$ ; #3  $x-1/2, -y+3/2, -z+1$ ; #4  $y, z, x$ ; #5  $z, x, y$ ; #6  $-x+1/2, -y+1, z+1/2$ ; #7  $-y+1, z-1/2, -x+1/2$ ; #8  $-x+1/2, -y+1, z-1/2$ ; #9  $z-1/2, -x+1/2, -y+1$ ; #10  $-y+3/2, -z+1, x+1/2$ ; #11  $x+1/2, -y+3/2, -z+1$ ; #12  $-z+1, x+1/2, -y+3/2$ ; #13  $y+1/2, -z+3/2, -x+1$ ; #14  $-x+3/2, -y+2, z+1/2$ .

## ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ

Кристаллическая структура кузнецовита образована анионами  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{AsO}_4)^{3-}$  и треугольными катионами  $\text{Hg}_3^{4+}$ . Атом ртути располагается в общей позиции вблизи тройной оси, что определяет равносторонность  $\text{Hg}_3$ -треугольника: расстояния  $\text{Hg}-\text{Hg}$  равны  $2,675(5) \text{ \AA}$ , угол  $\text{HgHgHg} = 60^\circ$ . Каждый атом ртути треугольника образует по две короткие связи с атомами кислорода  $\text{AsO}_4$ -тетраэдров —  $2,17(3)$  и  $2,28(3) \text{ \AA}$  и углом  $\text{OHgO} 94,3(13)^\circ$  и, кроме того, существуют более длинные контакты  $\text{Hg}-\text{O} 2,601(6) \text{ \AA}$  и  $\text{Hg}-\text{Cl} 2,838(9) \text{ \AA}$ . В результате координационное окружение отдельного атома ртути составляют  $2\text{O}+2\text{Hg}+\text{O}+\text{Cl}$ , образующие полиэдр неправильной формы, наиболее близкий к тригональной антипризме. Атомы  $\text{Cl}$ ,  $\text{As}$  и один из атомов кислорода  $\text{AsO}_4$ -тетраэдра располагаются на тройной оси. Расстояния  $\text{As}-\text{O}$  двух типов —  $1,74(3)$  и  $1,79(1) \text{ \AA}$ .

В структуре вдоль каждой из координатных осей идет чередование треугольников  $\text{Hg}_3$  и  $\text{AsO}_4$ -тетраэдров (рис. 1). Принимая во внимание только короткие  $\text{Hg}-\text{O}$ -связи ( $2,17(3)$  и  $2,28(3) \text{ \AA}$ ), в структуре можно выделить каркас с полостями, в которых располагаются ионы хлора.

Рассматривая структуру в целом, следует отметить, что центры  $\text{AsO}_4$ -тетраэдров и атомы хлора вместе образуют алмазоподобную решетку (почти идеальную:  $\text{As}$  отклоняется на  $\approx 0,08 \text{ \AA}$ ,  $\text{Cl}$  — на  $\approx 0,15 \text{ \AA}$  от идеальных положений  $0,0,0$  и  $1/4, 1/4, 1/4$  соответственно). В  $F$ -решетке, образованной крупными анионами  $\text{AsO}_4$ , половина тетраэдрических пустот занята атомами  $\text{Cl}$ , а октаэдрические пустоты — треугольниками  $\text{Hg}_3$ , причем центр пустоты совпадает с центром треугольника. В проведенном ранее по порошковым данным [4] определении структуры кузнецовита  $\text{Hg}_3$ -треугольник дополнялся до тетраэдра еще одним атомом ртути  $\text{Hg}^*$  в частично занятой (на 10 %) позиции около тройной оси. Однако при расчете расстояний по координатам [4] получается, что в структуре существуют короткие контакты  $\text{Hg}^* \dots \text{Hg}^*$  и  $\text{Hg}^* \dots \text{Cl}$ , равные  $1,66$  и  $1,92 \text{ \AA}$  соответственно, что говорит о нереальности такой модели. Положение четвертого атома  $\text{Hg}$  в нашем случае имело бы координаты  $(0,64, 0,64, 0,64)$ , и в разностном синтезе электронной плотности действительно имеется пик с такими координатами, но при размещении в нем атома  $\text{Hg}$  значение  $R$ -фактора увеличилось на 6 %. Уточнение степени заполнения этой позиции при фиксированных тепловых параметрах показало, что она в пределах стандартного отклонения равна нулю. Помещение в эту позицию атома  $\text{O}^*$  давало незначительное уменьшение  $R$ -фактора, однако при этом в

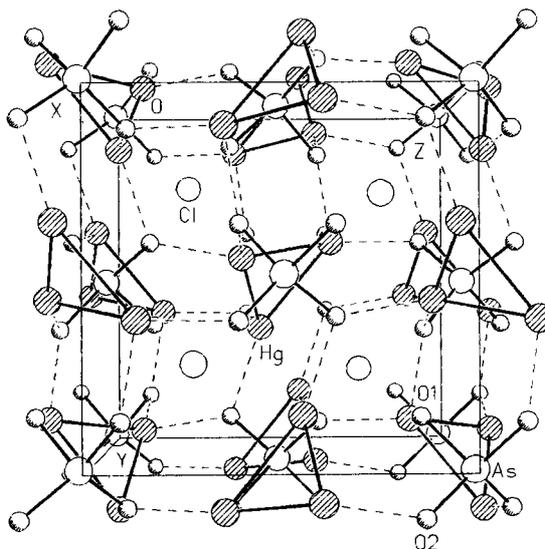


Рис. 1. Проекция кристаллической структуры кузнецовита  $\text{Hg}_3(\text{AsO}_4)\text{Cl}$  на плоскость  $(100)$

структуре появлялись короткие контакты  $O^*$  с атомом  $O(2')$  —  $2,16 \text{ \AA}$ . В пользу незанятости данной позиции свидетельствует расположение атомов  $O(2)$ : они находятся практически в центре треугольника ( $2Hg+As$ ). При дополнительной  $Hg^*(O^*)$ -позиции окружение  $O(2)$  становится тетраэдром и тогда  $O(2)$  должен выйти из грани тетраэдра в направлении вершины  $Hg^*(O^*)$ . Именно так расположен  $O(1)$  — близко к центру тетраэдра ( $3Hg+As$ ).

В кузнецовите все короткие контакты атомов ртути с кислородом располагаются по одну сторону плоскости  $Hg_3$ -треугольника, а пик электронной плотности находится с другой стороны. Появление в разностном синтезе пика электронной плотности при подобной односторонней координации одиночных атомов ртути ранее отмечалось при описании структуры минерала пинчита  $Hg_5Cl_2O_4$  [ 8 ], но там авторы объясняли этот факт наличием неподеленной электронной пары у двухвалентной ртути. Не имея пока данных о фактическом взаимодействии электронных систем в кластере  $Hg_3$ , можно предположить, что и в нашем случае появление пика электронной плотности связано с избыточной электронной плотностью над центром  $Hg_3$ -треугольника.

В дополнение к принятому обычно описанию структуры следует добавить, что сделанное авторами [ 4 ] предложение рассматривать группу  $Hg_3^{4+}$  как единый катион имеет под собой серьезное основание. Действительно, эта группировка окружена симметричным выпуклым координационным полиэдром из 12 атомов  $O$  и четырех  $Cl$ , представляющим собой комбинацию двух тетраэдров (лавесовский полиэдр), четыре шестиугольные грани которого центрированы приподнятыми над ними атомами хлора. В структуре эти полиэдры имеют общие ребра с  $AsO_4$ -тетраэдрами и общие грани ( $Cl+2O$ ) друг с другом. Если взять расстояния от центра  $Hg_3$ -треугольника до вершин полиэдра, то получается, что до кислородных атомов они лежат в интервале  $3,178 — 3,697 \text{ \AA}$ , а до  $Cl$  —  $3,575 — 3,826 \text{ \AA}$ , т.е. разброс небольшой. Поскольку координационное окружение отдельного атома ртути очень нерегулярное, такой способ полиэдрического описания структуры представляется целесообразным. Применение этого способа к другим структурам показало, что в терлингуанте  $Hg(Hg_3)O_2Cl_2$  [ 2 ] окружение  $Hg_3$  ( $6O+6Cl$ ) можно представить как тригональную призму, пересеченную на половине высоты плоским шестиугольником (гексагональный кубоктаэдр), а в  $Hg_9(AsO_4)_4$  [ 3 ] 12 атомов  $O$  образуют тригональную антипризму, также пересеченную на половине высоты почти плоским шестиугольником (кубический кубоктаэдр).

Интересен и "кислородный" аспект структуры кузнецовита: атомы кислорода образуют линейные ряды вдоль диагоналей граней элементарной решетки с расстояниями  $O...O$  в ряду меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов. Каждое ребро  $AsO_4$ -тетраэдра входит в один из таких линейных рядов. Вдоль каждой координатной оси чередуются пары перекрещивающихся кислородных рядов, точки пересечения которых сдвинуты относительно друг друга на половину трансляции ячейки.

Несколько необычно в структуре положение атома хлора: он служит как бы наполнителем структуры, заполняя центры четырех октантов элементарной ячейки и имея три контакта  $Hg-Cl$   $2,838 \text{ \AA}$  с одной стороны при существенно больших —  $3,531 \text{ \AA}$  — с другой, с которой к  $Cl$  обращены три грани  $AsO_4$ -тетраэдров. Подобное расположение атомов  $Cl$  (в полостях каркаса и с большими расстояниями до атомов ртути) наблюдается и в структурах пояркопита  $Hg_3OCl$  и эглестонита  $(Hg_2)_3O_2Cl_2H$  [ 2 ].

В настоящее время структурно изучено всего пять арсенатов ртути: два минерала — чурсинит  $(Hg_2^{2+})_3(AsO_4)_2$  [ 9 ] и кузнецовит  $(Hg_3)^{4+}(AsO_4)Cl$  и три синтетических соединения  $[(Hg_3)^{4+}]_3(AsO_4)_4$  [ 3 ],  $(Hg^{2+})_3(AsO_4)_2$  [ 11 ] и

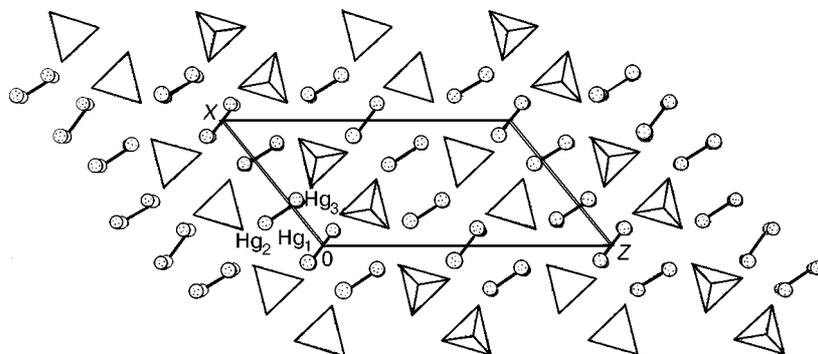


Рис. 2. Кристаллическая структура чурсинита  $(\text{Hg}_2)_3(\text{AsO}_4)_2$

$(\text{Hg}_2^{2+})(\text{Hg}^{2+})(\text{HAsO}_4)_2$  [12], причем для чурсинита известен синтетический аналог, у которого определена структура [10]. Атомы ртути в них имеют различные степени окисления — от 1+ до 2+ и связаны в треугольники  $(\text{Hg}_3)^{4+}$  либо гантели  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  или присутствуют в виде изолированных ионов  $\text{Hg}^{2+}$  (рис. 2).

При изучении зон окисления ртутных месторождений установлено, что в сообществе гипергенных минералов, судя по взаимоотношениям между ними, кузнецовит предшествует эггестониту  $(\text{Hg}_2)_3\text{Cl}_3\text{O}_2\text{H}$ , каломели  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  и кристаллизуется одновременно с шаховитом  $\text{Hg}_4\text{Sb}(\text{OH})_3\text{O}_3$ , а в рудах Хайдарканского месторождения [9] он встречается вместе с другим природным арсенатом — чурсинитом  $(\text{Hg}_2)_3(\text{AsO}_4)_2$  [9, 10], в структуре которого атомы ртути образуют гантели  $\text{Hg}_2^{2+}$ .

Взаимоотношения этих минералов и связь их структур не ясны. Можно отметить лишь одинаковое для обеих структур слоистое строение с чередованием слоев ртути и  $\text{AsO}_4$ -тетраэдров, однако внутри слоев в кузнецовите все  $\text{AsO}_4$ -тетраэдры ориентированы в одну сторону (рис. 3), тогда как в чурсините  $\text{AsO}_4$ -тетраэдры ориентированы в разные стороны (см. рис. 2).

Необходимо учитывать, что кубическая симметрия с четырьмя непересекающимися тройными осями очень упорядочивает структуру кузнецовита, делая ее, может быть, менее характерной для аналогичных по составу соединений. Тем не менее попытки найти более определенные соотношения структур в группе сосуществующих ртутных минералов будут продолжены. Уточнение строения и состава кузнецовита, где впервые в арсенатном минерале ртути найдена кластерная группировка  $(\text{Hg}_3)^{4+}$ , — очередной вклад в решение этой проблемы.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 98-05-65223).

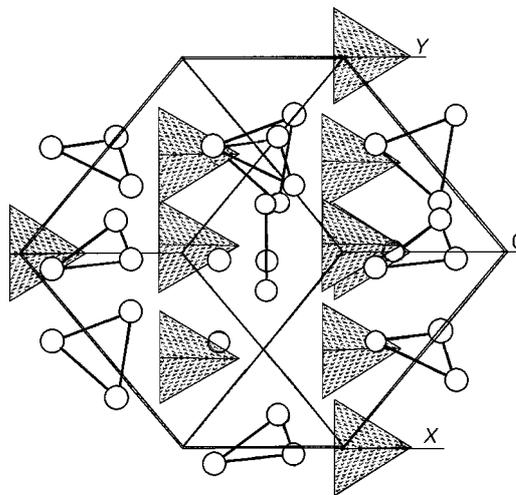


Рис. 3. Взаимное расположение тетраэдров  $\text{AsO}_4$ ,  $\text{Hg}_3$ -треугольников и атомов Cl в структуре кузнецовита

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магарилл С.А., Первухина Н.В., Романенко Г.В. Кристаллоструктурные характеристики неорганических соединений ртути. Ч. 2. – Рукопись деп. в ВИНТИ РАН, № 1858 – В96. – 69 с.
2. Первухина Н.В., Романенко Г.В., Борисов С.В. и др. // Журн. структур. химии. – 1999. – **40**. (в печати).
3. Wessels A.L., Jeitschko W., Moller M.H. // Z. Naturforsch. – 1997. – **B52b**. – S. 469 – 473.
4. Соловьева Л.П., Цыбуля С.В., Заболотный В.А., Пальчик Н.А. // Кристаллография. – 1991. – **36**, № 5. – С. 1292 – 1294.
5. Altomare A., Cascarano G., Giacovazzo C. et al. // J. Appl. Cryst. – 1994. – **27**. – P. 435 – 435.
6. North A.C., Philips D.C., Mathew F.S. // Acta Crystallogr. – 1968. – **A24**. – P. 351 – 359.
7. Sheldrick G.M., Gould R.O. // Ibid. – 1995. – **B51**. – P. 423 – 431.
8. Hawthorne F.C., Cooper M., Sen Gupta P.K. // Amer. Mineralogist. – 1994. – **79**. – P. 1199 – 1203.
9. Васильев В.И. // Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР. – 1985. – Вып. 587. – С. 5 – 21.
10. Kamenar B., Kaitner B. // Acta Crystallogr. – 1973. – **B29**. – P. 1666 – 1669.
11. Larsson A.-K., Lidin S., Stalhandske C., Albertsson J. // Ibid. – 1993. – **C49**. – P. 784 – 786.
12. Bondjada A. // Ibid. – 1990. – **A46** (Suppl). – P. 279.

Институт неорганической химии  
СО РАН

630090 Новосибирск  
пр. Акад. Лаврентьева, 3

Объединенный институт геологии,  
геофизики и минералогии СО РАН  
E-mail: romanenk@che.nsk.su

Статья поступила  
9 декабря 1997 г.