

УДК 541.49;548.73

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ  
СОЛЬВАТА БИС(ТРИФТОРАЦЕТИЛАЦЕТОНАТА)МЕДИ(II) С АЦЕТОНОМ**© 2008 П.А. Стабников<sup>1\*</sup>, Г.И. Жаркова<sup>1</sup>, А.И. Смоленцев<sup>1</sup>, Э.А. Украинцева<sup>1</sup>,  
Д.В. Солдатов<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск<sup>2</sup>Университет Гуэлфа, Химический факультет, Онтарио, Канада

Статья поступила 10 апреля 2008 г.

В работе впервые выделен и охарактеризован сольват  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2 \times (\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$ . По результатам РСА (дифрактометр X8 APEX BRUKER, излучение  $\text{MoK}_\alpha$ ,  $T = 150 \text{ K}$ ) он кристаллизуется в моноклинной сингонии, пространственная группа  $P2_1/c$ ,  $a = 8,9940(4)$ ,  $b = 22,3966(11)$ ,  $c = 8,1884(3) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 92,705(2)^\circ$ ,  $V = 1647,59(12) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ ,  $d_{\text{выч}} = 1,725 \text{ г/см}^3$ , конечный  $R = 0,0272$ . Структура молекулярная. В экваториальной плоскости атом  $\text{Cu(II)}$  окружен четырьмя атомами кислорода двух хелатных лигандов  $\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3$ ; расстояния  $\text{Cu—O}$  1,927—1,937  $\text{ \AA}$ , углы  $\text{O—Cu—O}$  86,18—93,30° и 170,18—175,67°. Квадратная координация  $\text{Cu}$  дополняется до квадратно-пирамидальной атомом кислорода молекулы ацетона, играющей роль аксиального лиганда;  $\text{Cu—O}_{\text{ацетон}}$  2,342  $\text{ \AA}$ ,  $\text{O—Cu—O}_{\text{ацетон}}$  89,66—100,11°. В изученном соединении разупорядочение одного из хелатных лигандов подразумевает сосуществование в кристалле молекул в *цис*- и *транс*-конфигурациях в соотношении 54,6:45,4. На воздухе сольват быстро разлагается с отщеплением ацетона, а в замкнутом объеме плавится около 313 К. Статическим мембранным методом изучена температурная зависимость равновесного давления паров ацетона над комплексом, из которой рассчитаны термодинамические характеристики процесса его диссоциации  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]_{\text{тв}} = [\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2]_{\text{тв}} + \text{CH}_3\text{COCH}_3_{\text{газ}}$ :  $\Delta H_{\text{ср}}^0 = 49,6(3) \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta S_{\text{ср}}^0 = 152(1) \text{ Дж/(моль} \cdot \text{K)}$ ,  $\Delta G_{298}^0 = 4,30(2) \text{ кДж/моль}$ .

**Ключевые слова:** медь(II),  $\beta$ -дикетонаты, ацетон, *цис*—*транс*-изомерия, кристаллическая структура, слабые взаимодействия, давление паров.

**ВВЕДЕНИЕ**

Бис-хелатные комплексы металлов с  $\beta$ -дикетонатными лигандами вызывают интерес исследователей в разных областях современной химии, например, как летучие прекурсоры для нанесения металлических покрытий методом MOCVD [1] или как структурные элементы для создания пористых и супрамолекулярных материалов [2, 3]. Ранее нами был изучен бис(трифторацетилацетонат)меди(II)  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2]$ , который образует две полиморфные модификации [4]. При кристаллизации его из ацетона вырастают кристаллы, содержащие дополнительно один моль этого растворителя  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$ , на воздухе они быстро разлагаются с высвобождением ацетона в газовую фазу.

В данной работе нами исследованы кристаллическая структура сольвата и его термодинамическая стабильность. Одной из задач было проследить, как изменяются молекулярная структура исходного комплекса (стереоконфигурация, геометрия координационного окружения)

\* E-mail: stabnik@che.nsk.su

и упаковка молекул в кристалле при дополнительной координации к центральному атому молекулы растворителя. Кроме того, важно было установить, насколько прочно удерживается ацетон в кристаллической фазе сольвата. Ранее нами было получено количественное термодинамическое описание стабильности соединения включения  $[\text{Ni}(\text{DBM})_2\text{Py}_2] \cdot 2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)$  (DBM — дибензоилметан  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COCHCOCH}_6\text{H}_5$ ; Py — пиридин), в котором молекулы ацетона играют роль гостя и удерживаются в структуре только за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий [5]. Представлялось интересным сравнение прочности связывания ацетона в качестве лиганда и в качестве гостя.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Синтез и анализ.** Бис(трифторацетилацетонат)меди(II)  $\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2$  получен по стандартной методике [6] в водно-спиртовой среде при сливании эквимолекулярных растворов хлорида меди и лиганда, нейтрализованного NaOH. Выпавший осадок серо-фиолетового цвета отфильтровывали, сушили и перекристаллизовывали в системе толуол—гептан. Заключительную очистку проводили сублимацией в вакуумной градиентной печи ( $P = 10^{-2}$  Торр,  $T = 453$  К). Химический анализ, проведенный на приборе Carlo-Erba 1106 (Италия), показал (найденно/рассчитано, мас. %): С 32,6/32,5, Н 2,1/2,2 и F 30,7/30,8.

Кристаллы сольвата выращивали из раствора бис(трифторацетилацетоната)меди(II) в ацетоне путем медленного испарения последнего при комнатной или пониженной температуре. Получены хорошо ограненные темно-синие кристаллы в виде пластин ромбической формы. Предварительный гравиметрический анализ показал, что в сольвате на одну молекулу комплекса меди приходится одна молекула ацетона:  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$ . В закрытом сосуде сольват устойчив, на воздухе быстро разлагается, теряя ацетон.

**Рентгеноструктурный анализ.** Отобранный кристалл сольвата  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2 \times (\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$  был сразу охлажден до температуры 150(2) К, при которой велось дальнейшее исследование. РСА проводили по стандартной методике на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker-Nonius X8 APEX, оснащенный двухкоординатным CCD детектором, с использованием излучения  $\text{MoK}_\alpha$  ( $\lambda = 0,71073$  Å) и графитового монохроматора.

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры следующие:  $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{CuF}_6\text{O}_4 \cdot \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ,  $M = 427,78$ , сингония моноклинная, пространственная группа  $P2_1/c$ ,  $a = 8,9940(4)$ ,  $b = 22,3966(11)$ ,  $c = 8,1884(3)$  Å,  $\beta = 92,705(2)^\circ$ ,  $V = 1647,59(12)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ ,  $d_{\text{выч}} = 1,725$  г/см<sup>3</sup>,  $\mu = 1,410$  мм<sup>-1</sup>, размеры кристалла 0,26×0,24×0,22 мм. Всего измерено 12580 отражений в области съемки  $\theta$  от 1,82 до 27,51° ( $-10 \leq h \leq 11$ ,  $-29 \leq k \leq 28$ ,  $-8 \leq l \leq 10$ ), число уточняемых параметров 257. Окончательные значения  $R$ -факторов:  $R_1 = 0,0272$ ,  $wR_2 = 0,0756$  для 3410 наблюдаемых ( $I_{hkl} \geq 2\sigma(I)$ ) рефлексов и  $R_1 = 0,0307$ ,  $wR_2 = 0,0767$  для всех 3774 независимых рефлексов, значение  $S$ -фактора по  $F^2$  1,087. Поглощение учтено эмпирически, опираясь на интенсивности эквивалентных рефлексов, с помощью программы SADABS [7]. Структура решена прямым методом и уточнена полноматричным МНК в анизотропном для неводородных атомов приближении по комплексу программ SHELX-97 [7]. Атомы водорода заданы геометрически. Кристаллоструктурные данные депонированы в Кембриджском банке структурных данных под номером CCDC 684239 и могут быть получены по запросу на сайте [www.ccdc.cam.ac.uk/data\\_request/cif](http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif) или у авторов.

**Давление паров.** Давление паров ацетона измеряли статическим методом с использованием стеклянного мембранного нуль-манометра ложечного типа. Чувствительность мембраны составляла ~0,1 Торр, точность термостатирования и измерения температуры 0,05 К. Подробное описание и схема установки даны в работе [8]. Образец сольвата массой ~1,5 г помещали в реакционный объем (~30 мл), который при охлаждении вакуумировали и затем герметично запаивали. Несмотря на высокие значения, равновесное давление паров ацетона в системе устанавливается довольно медленно: при температуре 289,6 К на это требуется 27 ч ( $P = 74,7$  Торр), при 312,5 К — 4 ч ( $P = 335,5$  Торр). Процесс является обратимым, однако после плавления и охлаждения до 291—292 К даже через 48 ч величина давления уменьшилась с 411

лишь до 137 Торр, а еще через четверо суток — до 122 вместо ~89 Торр, полученных первоначально. В связи с этим значения равновесного давления пара ацетона были получены при подходе к равновесию "снизу", т.е. при нагревании системы от комнатной температуры до заданной.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Описание структуры.** Структура исследованного сольвата образована изолированными молекулами  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$  (рис. 1). Координационное окружение  $\text{Cu}(\text{II})$  включает пять атомов кислорода, располагающихся в вершинах искаженной (вытянутой) тетрагональной пирамиды. В экваториальной плоскости атом меди окружен четырьмя атомами кислорода двух хелатных лигандов  $(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)^-$ ; расстояния  $\text{Cu—O}$  1,927—1,937 Å, углы  $\text{O—Cu—O}$  86,18—93,30° и 170,18—175,67°. Пятый аксиальный атом кислорода принадлежит молекуле ацетона, играющей роль дополнительного лиганда;  $\text{Cu—O}_{\text{ацетон}}$  2,342 Å,  $\text{O—Cu—O}_{\text{ацетон}}$  89,66—100,11°. Следует отметить, что в структуре несольватированного комплекса  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2]$  расстояния  $\text{Cu—O}$  заметно короче (1,900—1,926 Å) [4] (так же как и в молекулах ацетилацетоната и гексафторацетилацетоната меди(II) [9—11]). Аналогичное удлинение экваториальных координационных связей наблюдалось при координации к комплексу бис(1,1,1-трифтор-5,5-диметилгексан-2,4-дионата)меди(II) молекулы этанола [12]. Таким образом, образование дополнительной координационной связи при присоединении ацетона должно компенсировать ослабление экваториальных связей  $\text{Cu—O}_{\text{дикетон}}$ .

В сольвате фрагмент  $\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2$  по строению близок к плоскому (без учета атомов F и H); среднее отклонение атомов от среднеквадратичной плоскости составляет 0,094 Å, а диэдрический угол между  $\beta$ -дикетонатными фрагментами  $\text{O}(11)\text{C}(11)\text{C}(13)\text{C}(14)\text{O}(12)$  и  $\text{O}(21)\text{C}(21)\text{C}(23)\text{C}(24)\text{O}(22)$  составляет 14,3°. В кристаллической структуре наблюдается разупорядочение одного из  $\beta$ -дикетонатных лигандов молекулы, при котором заместители  $\text{CF}_3$  и  $\text{CH}_3$  меняются местами. Такое разупорядочение указывает на одновременное присутствие в кристалле *цис*- и *транс*-изомеров комплекса. Уточненные заселенности позиций 0,546(2) для *цис*-изомера и 0,454(2) для *транс*-изомера. Плоскость молекулы ацетона расположена под углом 98,2° по отношению к экваториальной плоскости комплекса, при этом угол  $\text{C}(1)\text{—O}(1)\text{—Cu}(1)$  равен 138,2°.

В структуре молекулы сольвата упаковываются с образованием димеров (рис. 2). Пирамидальная координация атома меди дополняется до октаэдрической ( $\text{КЧ} = 4 + 1 + 1$ ) за счет атома  $\text{Cu}$  соседнего комплекса на расстоянии 3,327(2) Å. Взаимное расположение димеров представлено на рис. 3. Как указано в обзоре [13], подобные димеры являются одним из характерных структурных мотивов в кристаллах  $\beta$ -дикетонатов меди(II).

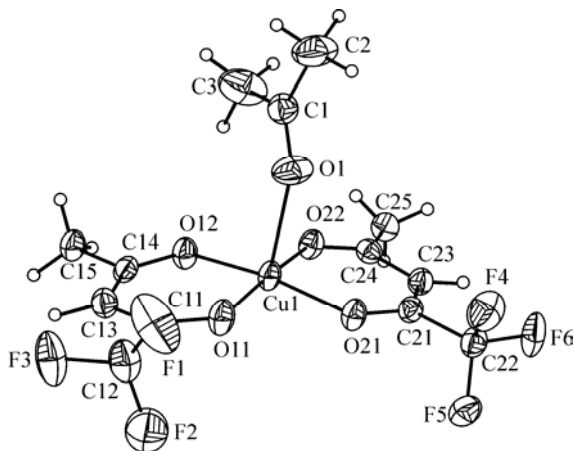


Рис. 1. Строение молекулы комплекса  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$  (эллипсоиды 50%-й вероятности)

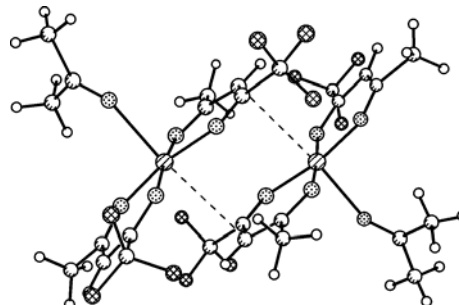


Рис. 2. Димерные молекулы в исследованном кристалле

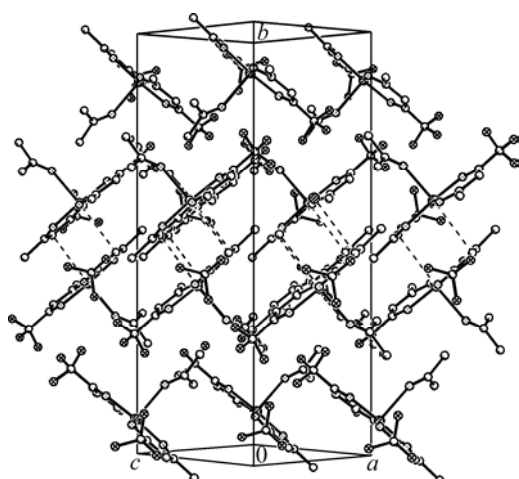


Рис. 3. Общий вид структуры [Cu(CF<sub>3</sub>COCHCOCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)] вдоль направления [101]. Атомы Н не показаны

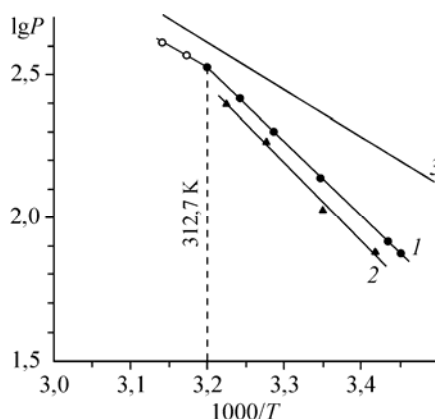
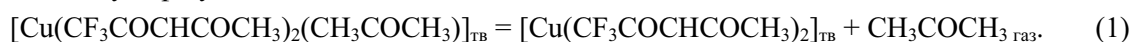


Рис. 4. Температурная зависимость равновесного давления ацетона ( $T$ , К;  $P$ , Торр) над образцом [Cu(CF<sub>3</sub>COCHCOCH<sub>3</sub>)(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)] (зависимость 1; черными кружками обозначены экспериментальные точки ниже температуры плавления сольвата, белыми — выше). Для сравнения приведены аналогичные зависимости для клатрата [Ni(DBM)<sub>2</sub>Py<sub>2</sub>]·2(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>) [5] (зависимость 2; черные треугольники) и жидкого ацетона [15] (зависимость 3)

**Термодинамическая стабильность.** Температурная зависимость равновесного давления пара ацетона при диссоциации исследуемого сольвата изучена в интервале 289—318 К. Экспериментальные данные в координатах  $\lg P - 1/T$  (здесь и далее:  $P$ , Торр.;  $T$ , К) представлены на рис. 4.

Температурная зависимость давления пара имеет излом при 312,7 К. Эта температура практически совпадает с началом эндотермического эффекта при нагревании запаянного образца сольвата и отвечает его плавлению. Ниже 312,7 К сольват диссоциирует с отщеплением ацетона в газовую фазу:

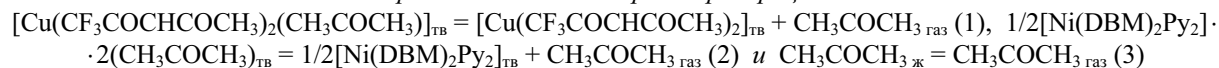


Экспериментальные результаты в этой области обработаны методом наименьших квадратов и с хорошей точностью описываются уравнением

$$\lg P = 10,82(4) - 2592(14)/T$$

(температурный интервал 289—312,5 К, 6 экспериментальных точек). С использованием этого уравнения рассчитаны изменения термодинамических параметров процесса (1), значения которых приведены в таблице. Выше температуры излома в равновесии находятся твердый комплекс [Cu(CF<sub>3</sub>COCHCOCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>тв</sub>, насыщенный раствор его в ацетоне и газообразный ацетон.

*Термодинамические параметры процессов*



| Процесс | $\Delta H_{\text{ср}}^0$ , кДж/моль | $\Delta S_{\text{ср}}^0$ , Дж/(моль·К) | $\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль | $P_{298}$ , Торр | $P_{298}/P_0^{**}$ |
|---------|-------------------------------------|--|-------------------------------|------------------|--------------------|
| (1)     | 49,6(3)                             | 152(1)                                 | 4,30(2)                       | 134              | 0,58               |
| (2)     | 53(3)                               | 160(10)                                | 4,74(7)                       | 112              | 0,48               |
| (3)     | 30,84*                              | —                                      | —                             | 231,5            | 1                  |

\* При температуре 300,4 К [14].

\*\*  $P_0$  — насыщенное давление пара ацетона при 298 К, равное 231,5 Торр [15].

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно результатам данной работы бис(трифторацетилацетонат)меди(II), который имеет квадратно-планарную координацию центрального атома двумя хелатными лигандами [4], способен присоединять ацетон в качестве дополнительного аксиального лиганда. При этом квадратно-планарная геометрия бис-хелатного фрагмента практически сохраняется, а координационный полиэдр достраивается до вытянутой тетрагональной пирамиды (см. рис. 1). Образующаяся координационная связь с ацетоном непрочная, но она компенсирует заметное ослабление связей Cu—O бис-хелатного фрагмента. Сольват  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$  легко выделяется в виде индивидуального кристаллического вещества. Равновесное давление ацетона над веществом довольно высокое (134 Торр при 298 К), поэтому на воздухе оно быстро разлагается с образованием исходного бис(трифторацетилацетоната)меди(II).

Интересно сравнить стабильность изученного в этой работе сольвата  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$  со стабильностью клатрата  $[\text{Ni}(\text{DBM})_2\text{Py}_2] \cdot 2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)$ , в котором молекулы ацетона удерживаются лишь за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий [5]. Как видно из рис. 4 и таблицы, последний даже более стабилен, т.е. ацетон удерживается в нем сильнее. Приведенный нами в [5] анализ ряда других соединений включения показывает, что значение  $P_{298}/P_0$  для них варьирует в диапазоне 0,39—0,75. Полученное в данной работе значение 0,58 для сольвата лежит в этом же интервале. Таким образом, выигрыш энергии за счет координации ацетона к атому меди соизмерим с выигрышем энергии за счет образования ван-дер-ваальсовых контактов при включении ацетона в полость клатрата. Ранее аналогичное явление наблюдалось нами при изучении клатратов, где имелись одновременно молекулы лигандного и гостевого пиридина [16—18]. Свойство изученного соединения обратимо поглощать ацетон, как и при клатратообразовании, может быть использовано в перспективе при создании газовых сенсоров [19—25].

Еще одним интересным результатом данного исследования является сосуществование в кристаллической фазе  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2(\text{CH}_3\text{COCH}_3)]$  двух стереоизомеров, *цис*- и *транс*-, в соотношении 0,55 : 0,45. Изученная ранее моноклинная форма  $[\text{Cu}(\text{CF}_3\text{COCHCOCH}_3)_2]$  представляет собой чистый *транс*-изомер [4]. В кристаллической фазе  $\beta$ -дикетонаты меди(II) были получены и в *транс*-, и в *цис*-формах, причем *транс*-изомеры встречаются чаще [13]. Бис(1,1,1-трифтор-4-иминопентан-2-онат)меди(II) был выделен в виде двух полиморфных модификаций с *транс*-конфигурацией молекул в обеих модификациях [26]. Бис(трифторацетилацетонат)платины(II) был выделен в виде отдельно существующих кристаллических *цис*- и *транс*-форм [27]. В некоторых случаях в одной структуре имеются две кристаллографически независимые молекулы с одинаковой стереоконфигурацией [28]. Наконец, очень редко в одной и той же структуре наблюдается сосуществование *цис*- и *транс*-изомеров, занимающих кристаллографически разные позиции [29].

Подводя итог этому обсуждению, необходимо отметить, что описанное в данной работе сосуществование *цис*- и *транс*-изомеров, располагающихся в кристаллической структуре в одной и той же позиции различных элементарных ячеек, статистически распределенных в кристалле, ни в одном из вышеперечисленных или упомянутых в обзоре [13] исследований не встречалось. Наблюдаемое явление можно объяснить некоторой рыхлостью кристаллической структуры, которая не испытывает каких-либо заметных искажений при "перевертывании" лиганда и замене метильной группы на трифторометильную.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *The Chemistry of Metal CVD* / Ed. T. Kodas, M. Hampden-Smith – Weinheim, N. Y., Basel, Cambridge, Tokyo: VCH, 1994.
2. Soldatov D.V. // J. Chem. Crystallogr. – 2006. – 36. – P. 747 – 768.
3. Bray D.J., Clegg J.K., Lindoy L.F., Schilter D. // Adv. Inorg. Chem. – 2007. – 59. – P. 1 – 37.
4. Байдина И.А., Стабников П.А., Громилов С.А., Смоленцев А.И. // Журн. структур. химии. – 2008. – 49, № 5. – С. 989.
5. Солдатов Д.В., Украинцева Э.А., Логвиненко В.А. // Там же. – 2007. – 48. – С. 995 – 1005. (J. Struct. Chem. – 2007. – 48. – P. 938 – 948.)

6. *Fackler J.P.* // *Progr. Inorg. Chem.* – 1966. – 7. – P. 361 – 425.
7. *Bruker* (2004). APEX2 (Version 1.08), SAINT (Version 7.03), SADABS (Version 2.11) and SHELXTL (Version 6.12). Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
8. *Ukrainitseva E.A., Dyadin Y.A., Kislykh N.V. et al.* // *J. Inclus. Phenom.* – 1995. – 23. – P. 23 – 33.
9. *Старикова З.А., Шугам Е.А.* // *Журн. структур. химии.* – 1969. – 10, № 2. – С. 290 – 293.
10. *Громилов С.А., Байдина И.А., Стабников П.А., Романенко Г.В.* // Там же. – 2004. – 45. – С. 502 – 507. (*J. Struct. Chem.* – 2004. – 45. – P. 476 – 481.)
11. *Байдина И.А., Крисюк В.В., Стабников П.А.* // Там же. – 2006. – 47. – С. 1123 – 1127. (*J. Struct. Chem.* – 2006. – 47. – P. 1111 – 1116.)
12. *DelaRosa M.J., Banger K.K., Higashiya S. et al.* // *J. Fluor. Chem.* – 2003. – 123. – P. 109 – 117.
13. *Громилов С.А., Байдина И.А.* // *Журн. структур. химии.* – 2004. – 45. – С. 1047 – 1127. (*J. Struct. Chem.* – 2004. – 45. – P. 1031 – 1081.)
14. *Pennington R.E., Kobe K.A.* // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1957. – 79. – P. 300 – 305.
15. *Ambrose D., Sprake C.H.S., Townsend R.* // *J. Chem. Thermodyn.* – 1974. – 6. – P. 693 – 700.
16. *Украинцева Э.А., Солдатов Д.В.* // *Журн. структур. химии.* – 2005. – 46, Прилож. – С. S171 – S176. (*J. Struct. Chem.* – 2005. – 46. – P. S175 – S180.)
17. *Ukrainitseva E.A., Soldatov D.V., Dyadin Yu.A.* // *J. Inclus. Phenom.* – 2004. – 48. – P. 19 – 23.
18. *Ukrainitseva E.A., Soldatov D.V., Dyadin Yu.A. et al.* // *Russ. J. Phys. Chem.* – 2003. – 77. – P. 1759 – 1762.
19. *Yakimov A.V., Ziganshin M.A., Gubaidullin A.T., Gorbachuk V.V.* // *Org. Biomol. Chem.* – 2008. – 6. – P. 982 – 985.
20. *Ziganshin M.A., Yakimov A.V., Safina G.D. et al.* // *Ibid.* – 2007. – 5. – P. 1472 – 1478.
21. *Soldatov D.V.* // *ACS Symp. Ser.* – 2005. – 912. – P. 214 – 231.
22. *Tanaka K., Iwamoto T., Caira M.R.* // *New J. Chem.* – 2004. – 28. – P. 329 – 331.
23. *Schropfer M., Lerchner J., Wolf G. et al.* // *Thermochim. Acta.* – 1998. – 310. – P. 199 – 205.
24. *Seidel J., Wolf G., Weber E.* // *Ibid.* – 1996. – 271. – P. 141 – 148.
25. *Buhlmann K., Reinbold J., Cammann K. et al.* // *Fresenius J. Anal. Chem.* – 1994. – 348. – P. 549 – 552.
26. *Байдина И.А., Громилов С.А., Жаркова Г.И., Стабников П.А.* // *Журн. структур. химии.* – 2003. – 44. – С. 500 – 509. (*J. Struct. Chem.* – 2003. – 44. – P. 448 – 456.)
27. *Жаркова Г.И., Байдина И.А., Стабников П.А., Игуменов И.К.* // Там же. – 2006. – 47. – С. 731 – 740. (*J. Struct. Chem.* – 2006. – 47. – P. 716 – 725.)
28. *Лисковская Т.И., Семянников П.П., Байдина И.А. и др.* // Там же. – 2006. – 47. – С. 741 – 748. (*J. Struct. Chem.* – 2006. – 47. – P. 726 – 734.)
29. *Soldatov D.V., Ripmeester J.A., Shergina S.I. et al.* // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1999. – 121. – P. 4179 – 4188.