

**Синтез, кристаллическая структура и термические свойства
трихлоро-[*O*-бис-(2-гидроксиэтил)аммоний]марганца(II),
 $\{\text{Mn}[(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]\text{Cl}_3\}_n$, и акватрихлороманганата(II) *N*-метил-
N-(2-гидроксиэтил)аммония, $[\text{MeNH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}][\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_3]^*$**

М. А. Захаров, Ю. В. Филатова, С. Р. Михеева, М. А. Быков, Н. В. Авраменко, В. А. Тафеенко

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Химический факультет,
Российская Федерация, 119992 Москва, Ленинские горы, 1.
E-mail: max@struct.chem.msu.ru*

В работе представлен синтез двух новых соединений — трихлоро-[*O*-бис-(2-гидроксиэтил)аммоний]марганца(II), $\{\text{Mn}[(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]\text{Cl}_3\}_n$ (**1**), и аква-трихлороманганата(II) *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония, $[\text{CH}_3\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}][\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_3]$ (**2**). Методом рентгеноструктурного анализа монокристаллов установлена кристаллическая структура полученных соединений. Обе структуры содержат подобные цепи из октаэдров (MnOCl_5), причем в структуре **1** атом марганца координирован ОН-группой катиона, а в структуре **2** — молекулой воды. Структура **1** содержит различные системы водородных связей вследствие разупорядочения ОН-групп катиона. Методом ДСК определены температуры и энтальпии плавления полученных соединений, которые составили 162 °С и 17.3 кДж·моль⁻¹ для соединения **1**, 30 °С и 16.9 кДж·моль⁻¹ для соединения **2**. Соединение **1** является координационным цепочечным полимером, а соединение **2** — ионной жидкостью с полимерным анионом.

Ключевые слова: координационный полимер, металлсодержащие ионные жидкости, кристаллическая структура, термические свойства.

Соединения марганца, в частности галогеноманганаты, привлекают внимание исследователей благодаря проявляемым физическим свойствам, например, магнитным^{1,2} и люминесцентным^{3–5}. Эти свойства связаны с кристаллической структурой соединений. Также галогеноманганаты часто используют в качестве анионов в ионных жидкостях^{6,7}.

Кристаллохимия анионов MnCl_x^{n-} довольно разнообразна: в кристаллических структурах встречаются островные тетраэдры и димеры из октаэдра и квадратной пирамиды⁸, октаэдры⁹, цепочки октаэдров¹⁰, слои из октаэдров¹¹. Влияние размеров катионов и наличия у них функциональных групп на структуру соединения, а также взаимосвязь структуры и свойств обсуждается в работе⁸.

Исследование кристаллического строения соединений диэтаноламмония с анионами FeCl_4^- и CoCl_4^{2-} показало, что в структуре с тетрагидроферратанионом присутствует разупорядоченная

система водородных связей, а сами соединения являются протонными ионными жидкостями, так как имеют низкую температуру плавления (ниже 100 °С)¹².

В настоящей работе мы решили исследовать соединения хлороманганат-аниона с катионами диэтаноламмония и *N*-метил-*N*-(гидроксиэтил)аммония, различающихся между собой количеством ОН-групп, с целью изучения влияния ОН-групп на структуру и термические свойства соединений.

Экспериментальная часть

Использованные реагенты: $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ («ч.»), HCl (36%, «х.ч.»), $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}$ (99%, «Acros»), SOCl_2 («ч.»), $\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ (99%, «Alfa Aesar»).

Синтез безводного хлорида марганца(II). Смесь 7.8567 г (0.0397 моль) тетрагидрата хлорида марганца(II), $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, и 13.6 мл (0.1872 моль) SOCl_2 кипятили с обратным холодильником, оборудованным хлоркальциевой трубкой, в течение 2 ч. Получили 5 г безводного хлорида марганца(II). Избыток SOCl_2 отогнали, а колбу с продуктом поместили в эксикатор над KOH (тв.). Получили мелкокристаллическое вещество светлорозового цвета. Выход составил 97%.

* По материалам XXVIII Международной Чугаевской конференции по координационной химии (3–8 октября 2021 г., г. Туапсе).

Синтез протонных ионных жидкостей — хлорида дигидроксиэтиламмония (DEANCl) и хлорида *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония (MEANCl). Хлорид дигидроксиэтиламмония синтезировали согласно методике, описанной в работе¹². Хлорид *N*-метил-*N*-гидроксиэтиламмония синтезировали по аналогии с методикой для синтеза хлорида дигидроксиэтиламмония, только вместо дигидроксиэтиламина использовали 2-метиламиноэтанол.

Синтез хлороманганата дигидроксиэтиламмония (1) и хлороманганата *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония (2). В стеклянный бюкс с крышкой в условиях сухого бокса помещали 2.9988 г (2.38 ммоль) MnCl_2 и 6.7354 г (4.76 ммоль) хлорида дигидроксиэтиламмония или 5.0374 г (4.76 ммоль) хлорида *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония. Затем смеси перемешивали на магнитной мешалке в течение четырех часов при температуре 80 °С до полной гомогенизации. Полученные розово-бежевая (1) и желтовато-бежевая (2) жидкости были помещены в эксикатор над P_4O_{10} . Светло-розовые кристаллы соединения 1 выпали через 3 суток. Светло-бежевые кристаллы соединения 2 выпали через две недели.

Трихлоро- $[\text{O-бис-(2-гидроксиэтил)аммоний}]-\text{марганец(II)}$, $\{\text{Mn}[(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]\text{Cl}_3\}_n$ (1). Выход 62%. Найдено (%): С, 18.6; Н, 5.2; Cl, 41.3; Mn, 19.7; N, 6.8; O, 8.4. $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{O}_2\text{NMnCl}_3$. Вычислено (%): С, 17.96; Н, 4.52; Cl, 39.77; Mn, 20.54; N, 5.24; O, 11.96. ИК-спектр, $\nu/\text{см}^{-1}$: 3476, 3124, 2899, 2824, 2528, 1624, 1505, 1453, 1361, 1331, 1281, 1246, 1186, 1089, 1063, 1024, 933, 890, 863, 763, 583, 432.

Акватрихлороманганат(II) *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония, $[\text{CH}_3\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}][\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_3]$ (2). Выход 65%. Найдено (%): С, 15.0; Н, 5.5; Cl, 42.5; Mn, 20.3; N, 5.9; O, 10.8. $\text{C}_6\text{H}_{24}\text{O}_4\text{N}_2\text{Mn}_2\text{Cl}_6$. Вычислено (%): С, 14.11; Н, 4.74; Cl, 41.64; Mn, 21.51; N, 5.48; O, 12.53. ИК-спектр, $\nu/\text{см}^{-1}$: 3303, 2768, 2751, 1476, 1464, 1451, 1349, 1285, 1240, 1161, 1111, 1099, 1061, 990, 856, 801, 743.

Методы исследования

Дифференциальная сканирующая калориметрия. Образец соединения 1 был исследован на приборе «Netzsch DSC-204 F1». Образец соединения 2 был исследован на приборе «Mettler TA 3000». Образцы тестировали в стандартных алюминиевых ячейках ($V = 56 \text{ мм}^3$, $d = 6 \text{ мм}$), завальцованных крышкой с отверстием (отношение площади дна ячейки к площади отверстия составляло порядка 40) в потоке ($40 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1}$) азота («ос.ч») при скорости нагревания $5 \text{ К} \cdot \text{мин}^{-1}$.

ИК-спектроскопия. ИК-спектры были записаны на спектрометре «FT-IR Spectrometer Frontier» производства «PerkinElmer».

Рентгеноструктурный анализ. Рентгеноструктурный анализ проведен для образцов 1 и 2 с использованием монокристалльного рентгеновского дифрактометра «StadiVari Pilatus 100 K». Кристаллографические данные и детали дифракционных экспериментов приведены в таблице 1.

Кристаллические структуры расшифрованы прямыми методами (программа SHELX-97¹³) и уточнены полноматричным методом наименьших квадратов. Все атомы, кроме атомов водорода, были уточнены анизотропно

Таблица 1. Кристаллографические данные и условия экспериментов для образцов 1 и 2

Параметр	1	2
Брутто-формула	$\text{C}_4\text{H}_{12}\text{O}_2\text{NMnCl}_3$	$\text{C}_6\text{H}_{24}\text{O}_4\text{N}_2\text{Mn}_2\text{Cl}_6$
<i>M</i>	267.44	255.43
Сингония	Моноклинная	Моноклинная
Пространственная группа	$P2_1/n$ (№ 14)	$P2_1/c$ (№ 14)
<i>a</i> /Å	7.3594(6)	18.628(2)
<i>b</i> /Å	10.5254(6)	7.3177(7)
<i>c</i> /Å	12.2750(7)	14.8240(10)
β /град	90.884(4)	109.939(8)
<i>V</i> /Å ³	950.72(11)	1899.6(3)
<i>Z</i>	4	4
<i>d</i> _{calc} /г·см ⁻³	1.868	1.786
<i>T</i> /К	293(2)	293(2)
λ /Å	0.71073 (Mo-K α)	1.54186 (Cu-K α)
$\theta_{\min}$ — $\theta_{\max}$ /град	2.55—31.03	2.52—70.99
$\mu/\text{мм}^{-1}$	2.184	18.690
$T_{\min}/T_{\max}$	0.247/0.269	0.208/0.326
Количество рефлексов		
измеренных	15449	13586
независимых	3006	3602
$c I > 2\sigma(I)$	2212	1416
R_{int}	0.0476	0.0839
Число уточняемых параметров	128	195
R_1 по $I > 2\sigma(I)$	0.0286	0.0658
wR_2 (по всем данным)	0.0542	0.2157
GOOF по F^2	0.871	0.818
Остаточная электронная плотность ($\rho_{\min}/\rho_{\max}$)/e·Å ⁻³	−0.525/0.406	−0.922/1.134

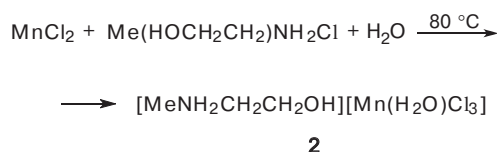
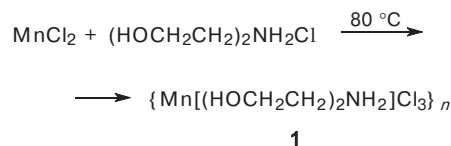
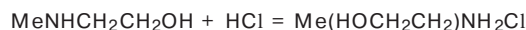
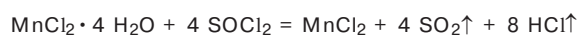
(программа SHELXL в пакете программ SHELX-97¹³). В соединении **1** атомы водорода метиленовых групп, а в соединении **2** все атомы водорода, кроме молекул воды, были заданы геометрически и не уточнялись. Положения атомов водорода OH- и NH₂⁺-групп в **1** и атомов водорода молекул воды в **2** были найдены из разностных синтезов Фурье и уточнены в изотропном приближении с наложенными ограничениями относительно длины связи O—H и параметров тепловых колебаний. В структуре **1** было обнаружено разупорядочение катиона диэтаноламмония: одна из OH-групп разупорядочена по двум позициям с заселенностью, близкой к 0,5, а у второй OH-группы разупорядочен только атом водорода по двум позициям с заселенностью 0,58 и 0,42. Данные обрабатывали с помощью программы WinGX¹⁴. Изображения структур подготовлены с использованием программы Diamond 3.0¹⁵. Кристаллические структуры депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC) под номерами 2129726 (**1**) и 2129724 (**2**).

Обсуждение полученных результатов

Трихлоро-[О-бис-(2-гидроксиэтил)аммоний]-марганец(II) (**1**) и акватрихлороманганат(II) *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония (**2**) синтезировали по схеме 1.

Независимая часть структуры **1** состоит из катиона дигидроксиэтиламмония, атома марганца и трех атомов хлора, причем атом марганца находится в искаженно октаэдрическом окружении из пяти атомов хлора и одного атома кислорода, принадлежащего одной из OH-групп катиона (рис. 1). Четыре атома хлора являются мостиковыми между атомами марганца, а один — Cl(3) — терминальным. Самое короткое расстояние от атома марганца до атома кислорода OH-группы составляет 2,2559 Å, расстояние от атома марганца до терминального атома хлора — 2,4764(5) Å,

Схема 1



расстояния от атома марганца до четырех мостиковых атомов хлора составляют 2,5140—2,5672 Å. Октаэдры [MnCl₅(O(H)R)] объединяются общими ребрами в цепочки вдоль направления оси *a*. Цепочки октаэдров с присоединенными к ним катионами диэтаноламмония связаны посредством водородных связей (см. далее) в трехмерный каркас (рис. 2). Такое строение свидетельствует о том, что данное соединение можно отнести к цепочечным координационным полимерам.

В структуре **1** присутствует разветвленная система водородных связей. Катион дигидроксиэтиламмония имеет две OH-группы и NH₂-группу, которые участвуют в образовании водородных связей в качестве донора атома водорода. Атомы кислорода OH-групп, не координированных атомом марганца, а также атомы хлора участвуют в образовании водородных связей в качестве

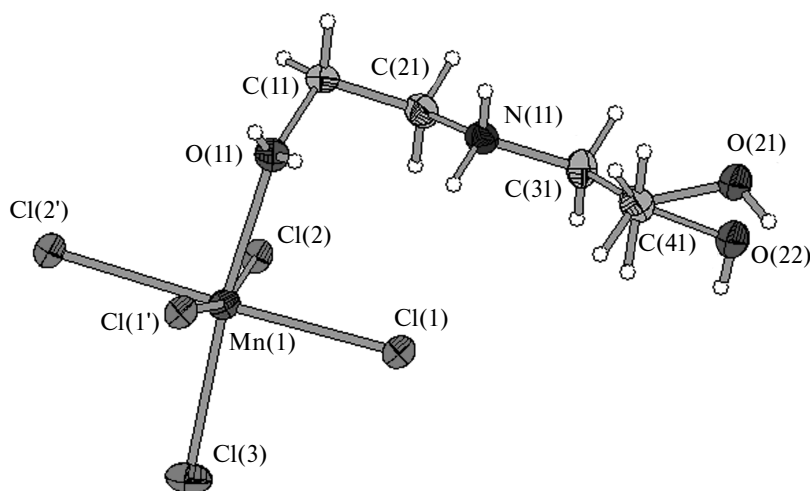


Рис. 1. Фрагмент структуры **1**, тепловые эллипсоиды показаны с вероятностью 50%. Нумерация атомов водорода не дана.

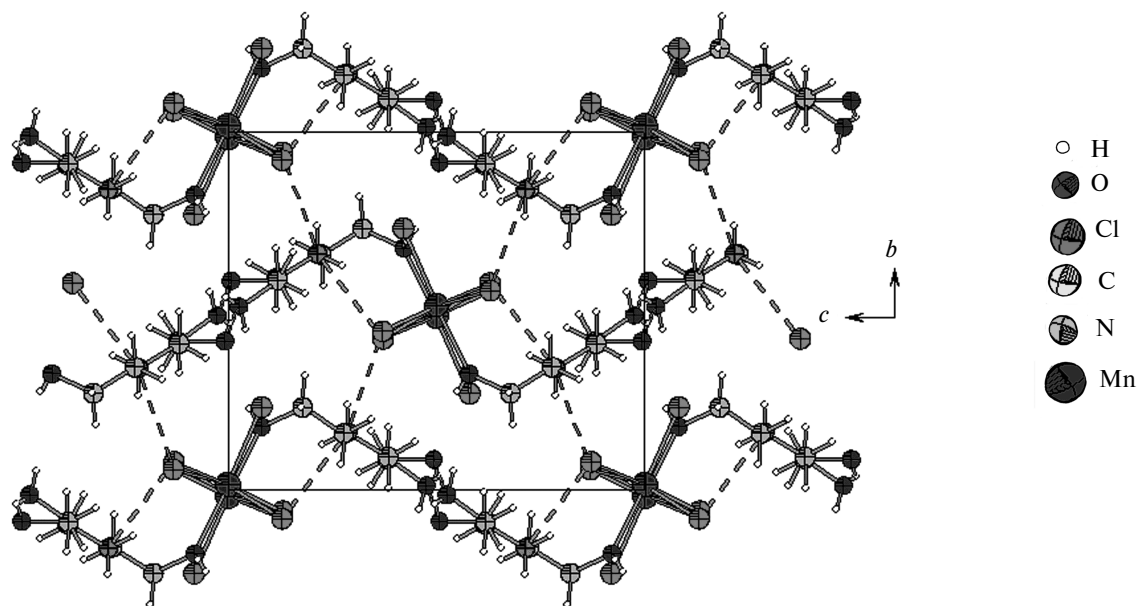


Рис. 2. Фрагмент структуры 1. Цепочки $\{Mn(DEAH)Cl_3\}_n$ связаны между собой водородными связями (штриховые линии).

акцепторов атомов водорода, к тому же некоординированная OH-группа разупорядочена по двум положениям. Все это приводит к интересной особенности данной структуры — к двум одинаково вероятным системам водородных связей (рис. 3), геометрические характеристики которых представлены в таблице 2. Группа O(21)—H(21) одного катиона (см. рис. 3, катион 1) участвует в качестве

донора атома водорода в образовании водородной связи (2.808(5) Å) с группой O(22)—H(22) второго катиона (см. рис. 3, катион 2), связанного с первым центром инверсии. Та же группа O(21)—H(21) участвует уже в качестве акцептора атома водорода в образовании водородной связи (2.732(5) Å) с группой O(11)—H(11) третьего катиона (см. рис. 3, катион 3), связанного с первым плоскостью скользя-

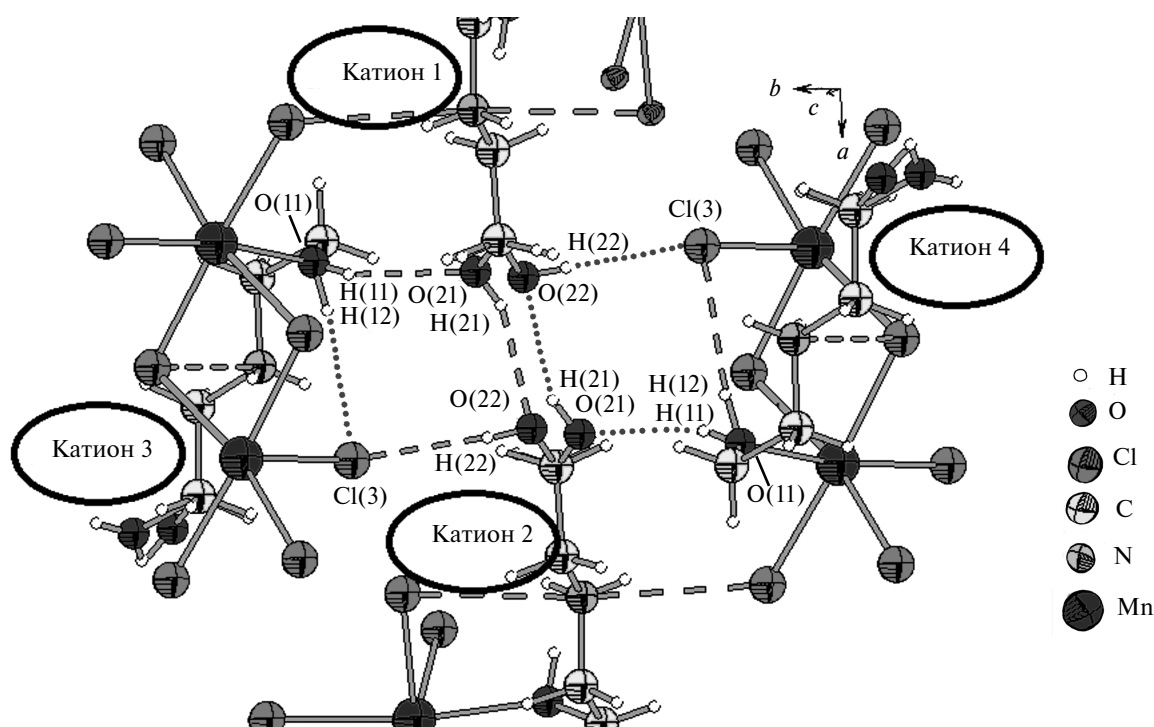


Рис. 3. Равновероятные системы Н-связей в структуре 1. Штриховыми линиями обозначен один вариант Н-связей, пунктирными — второй.

Таблица 2. Геометрические характеристики водородных связей в структурах 1 и 2

Водородная связь	Расстояние/Å			Угол/град
	<i>d</i> (D⋯A)	<i>d</i> (D—H)	<i>d</i> (H⋯A)	
Соединение 1				
O(11)—H(11)⋯O(21) ^a	2.731(3)	0.66(5)	2.12(5)	156(6)
O(11)—H(12)⋯Cl(3) ^b	3.370(16)	0.85(8)	2.53(9)	171(8)
O(21)—H(21)⋯O(22) ^c	2.810(5)	0.75(5)	2.13(5)	153(6)
O(22)—H(22)⋯Cl(3) ^d	3.077(3)	0.74(5)	2.33(5)	175(5)
N(11)—H(1)⋯Cl(2) ^e	3.1326(17)	0.84(2)	2.39(2)	147.0(19)
N(11)—H(2)⋯Cl(1) ^b	3.1862(17)	0.87(2)	2.48(2)	139.2(18)
N(11)—H(2)⋯Cl(3) ^b	3.2278(17)	0.87(2)	2.62(2)	128.1(17)
Соединение 2				
O(1)—H(1)⋯O(3) ^f	2.7208(3)	0.82	2.40	105
O(2)—H(2)⋯Cl(1) ^g	3.5722(4)	0.82	3.08	122
O(3)—H(31)⋯O(1) ^h	2.7208(3)	0.84	2.31	110
O(3)—H(32)⋯Cl(6) ^f	3.3430(4)	0.85	2.51	170
O(4)—H(41)⋯O(2) ⁱ	2.7401(3)	0.84	2.28	114
O(4)—H(42)⋯Cl(5) ^j	3.2609(4)	0.85	2.49	151
N(1)—H(1A)⋯Cl(2) ^k	3.1649(3)	0.89	2.46	136
N(1)—H(1B)⋯Cl(6)	3.2444(3)	0.89	2.40	158
N(2)—H(2A)⋯Cl(5) ^j	3.2494(3)	0.89	2.40	159
N(2)—H(2B)⋯Cl(1) ^l	3.2161(3)	0.89	2.49	140

^a1/2 + x, 1/2 - y, 1/2 + z; ^b1 - x, 1 - y, 1 - z; ^c-x, 1 - y, -z; ^d-1/2 + x, 3/2 - y, -1/2 + z;

^e3/2 - x, -1/2 + y, 1/2 - z; ^f1 - x, y - 1/2, -z + 1/2; ^gx - 1, y, z; ^h1 - x, y + 1/2, -z + 1/2;

ⁱx, y - 1, z; ^j-x, y + 1/2, -z + 1/2; ^kx, 1/2 - y, 1/2 + z; ^l-x, 1 - y, -z.

щего отражения *n*. Группа O(22)—H(22) второго катиона участвует в качестве донора атома водорода в образовании водородной связи (3.074(2) Å) с атомом Cl(3) из той же цепочки, что и третий катион (см. рис. 3, катион 3). Получается цепочка водородных связей O(11)—H(11)⋯O(21)—H(21)⋯O(22)—H(22)⋯Cl(3) (см. рис. 3, цепочка Н-связей обозначена штриховыми линиями). В то же время в катионе 4 (см. рис. 3) реализуется Н-связь

O(11)—H(12)⋯Cl(3). Второй вариант цепочки водородных связей точно такой же, но участвуют уже группы катиона 4, катиона 2 и катиона 1, а в катионе 3 остается связь O(11)—H(12)⋯Cl(3) (на рисунке 3 обозначена пунктирными линиями). Группа NH₂ образует как донор атома водорода две водородные связи с атомами хлора (см. рис. 3 и табл. 2)

Элементарная ячейка структуры 2 содержит два независимых катиона MEAH⁺ и два независимых

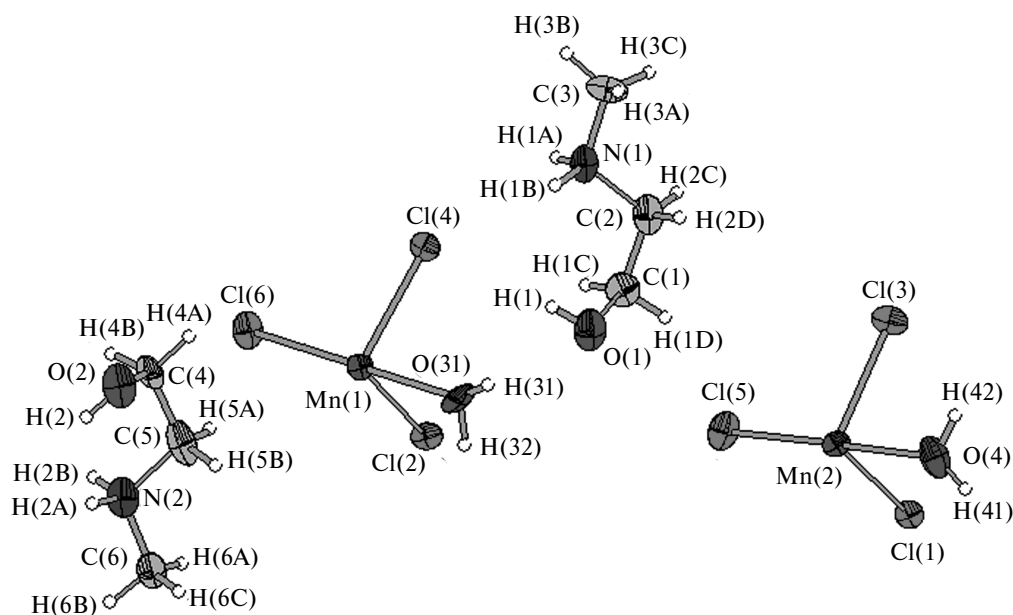


Рис. 4. Асимметричная часть ячейки структуры 2. Тепловые эллипсоиды приведены с вероятностью 50%.

атома марганца (рис. 4) в составе аниона $\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_3^-$. Оба атома марганца имеют искаженное октаэдрическое окружение, состоящее из одной молекулы воды и пяти атомов хлора, из которых четыре являются мостиковыми ($\text{Cl}(1)$, $\text{Cl}(2)$, $\text{Cl}(3)$, $\text{Cl}(4)$). Расстояния между атомами марганца и лигандами в октаэдрах схожи между собой и близки к расстояниям в октаэдре структуры **1**. Самые короткие расстояния от атомов марганца до атомов кислорода молекул воды составляют 2.275(7) Å ($\text{Mn}(1)–\text{O}(3)$) и 2.235(7) Å ($\text{Mn}(2)–\text{O}(4)$), расстояния $\text{Mn}–\text{Cl}$ лежат в диапазоне 2.511–2.588 Å. В структуре **2**, в отличие от структуры **1**, наибольшее удаление имеют терминальные атомы хлора $\text{Cl}(5)$ и $\text{Cl}(6)$, данный экспериментальный факт пока не нашел однозначного объяснения, и поэтому требуются дальнейшие исследования. Октаэдры ($\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_5$), имея общие ребра, образуют цепи, направленные вдоль оси *b*. Соединение **2** также можно отнести к цепочечным координационным полимерам, но в отличие от соединения **1** цепочки из октаэдров ($\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_5$) имеют отрицательный заряд, а катионы связаны с этими цепочками водородными связями.

Гидроксильные группы катионов в качестве доноров атомов водорода образуют водородные связи с молекулой воды ($\text{O}(1)–\text{H}(1) \cdots \text{O}(3)$) и атомом хлора ($\text{O}(2)–\text{H}(2) \cdots \text{Cl}(1)$). Молекулы воды в качестве донора атома водорода образуют по две водородные связи каждая с ОН-группой катиона ($\text{O}(3)–\text{H}(31) \cdots \text{O}(1)$ и $\text{O}(4)–\text{H}(41) \cdots \text{O}(2)$) и атомом хлора ($\text{O}(3)–\text{H}(32) \cdots \text{Cl}(6)$ и $\text{O}(4)–\text{H}(42) \cdots \text{Cl}(5)$). Группы NH_2 катионов участвуют в качестве доноров

атомов водорода в водородных связях с атомами хлора ($\text{N}(1)–\text{H}(1\text{A}) \cdots \text{Cl}(2)$, $\text{N}(1)–\text{H}(1\text{B}) \cdots \text{Cl}(6)$, $\text{N}(2)–\text{H}(2\text{A}) \cdots \text{Cl}(5)$ и $\text{N}(2)–\text{H}(2\text{B}) \cdots \text{Cl}(1)$) (табл. 2). Такая система водородных связей приводит к образованию слоев, состоящих из цепочек октаэдров и присоединенных катионов, расположенных параллельно плоскости *bc* (рис. 5). Между слоями существуют только ван-дер-ваальсовы взаимодействия.

Методом ДСК были определены температуры плавления и энтальпии плавления образцов **1** и **2**: т.пл. 162 (**1**) и 30 °С (**2**), $\Delta H_{\text{пл}} = 17.3$ (**1**) и 16.9 кДж·моль^{–1} (**2**). Соединения значительно различаются по температуре плавления, но при этом имеют почти одинаковую энтальпию плавления. Разница в температуре плавления может быть объяснена тем, что соединение **1** является координационным цепочечным полимером с водородными связями между цепочками, а соединение **2** — ионной жидкостью с полядным анионом. На температуру плавления также влияет количество водородных связей, которое образует катион.

Таким образом, синтезированы два новых соединения — трихлор- $[O$ -бис-(2-гидроксиэтил)-аммоний]марганец(II) (**1**) и акватрихлороманганат(II) *N*-метил-*N*-(2-гидроксиэтил)аммония (**2**). Установлены кристаллические структуры полученных соединений методом рентгеноструктурного анализа монокристалла. Структура **1** содержит две равновероятные системы водородных связей, обусловленные разупорядочением ОН-групп катиона. Обе структуры содержат похожие цепи из октаэдров (MnOCl_5), причем в структуре **1** атом

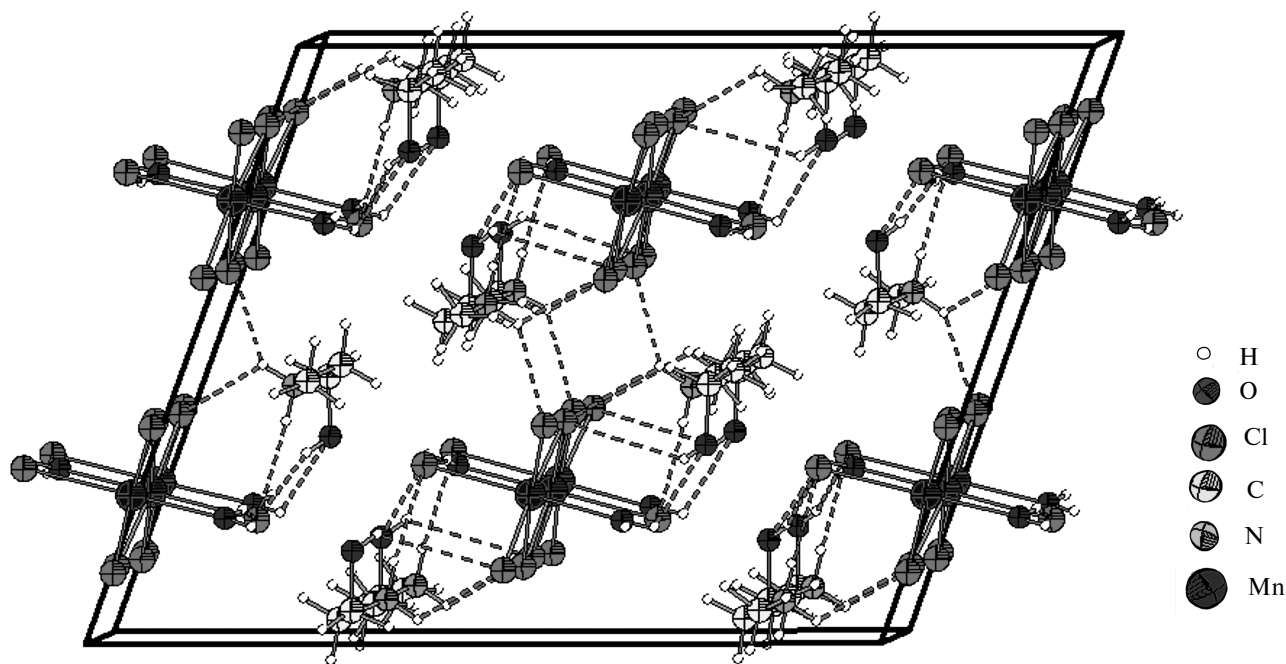


Рис. 5. Вид структуры **2** вдоль оси *b*. Цепочки $\{\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})\text{Cl}_3\}_n$ соединены с катионами МЕАН в слои, параллельные плоскости (0 1 1) водородными связями.

кислорода принадлежит ОН-группе катиона, а в структуре **2** — молекуле воды. В работе методом ДСК определены температуры плавления полученных соединений, которые составили 162 °С для соединения **1** и 30 °С — для соединения **2**. Соединение **1** является координационным цепочечным полимером, а соединение **2** — ионной жидкостью с поли-ядерным анионом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №19-08-00672а).

Настоящая статья не содержит описания выполненных авторами исследований с участием людей или использованием животных в качестве объектов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в финансовой или какой-либо иной сфере.

Список литературы

1. S. Walha, H. Naili, S. Yahyaoui, B. F. Ali, M. M. Turnbull, T. Mhiri, T. Bataille, *Sol. State Sci.*, 2011, **13**, 204; DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2010.11.015.
2. L. J. De Jongh, A. R. Miedema, *Adv. Phys.*, 2001, **50**, 947; DOI: 10.1080/00018730110101412.
3. M.-E. Sun, Y. Li, X.-Y. Dong, S.-Q. Zang, *Chem. Sci.*, 2019, **10**, 3836; DOI: 10.1039/c8sc04711a.
4. B. Su, G. Zhou, J. Huang, E. Song, A. Nag, Z. Xia, *Laser Photonics Rev.*, 2020, 2000334; DOI: 10.1002/lpor.202000334.
5. B. Luo, F. Li, K. Xu, Y. Guo, Y. Liu, Z. Xia, J. Z. Zhang, *J. Mater. Chem. C*, 2019, **7**, 2781; DOI: 10.1039/C8TC05741A.
6. J. Estager, J. D. Holbrey, M. Swadźba-Kwaśny, *Chem. Soc. Rev.*, 2014, **43**, 847; DOI: 10.1039/C3CS60310E.
7. A. G. Zazybin, K. Rafikova, V. Yu, D. Zolotareva, B. M. Дембицкий, T. Sasaki, *Успехи химии*, 2017, **86**, 1254 [A. Zazybin, Kh. Rafikova, V. Yu, D. Zolotareva, V. M. Dembitsky, T. Sasaki, *Russ. Chem. Rev.*, 2017, **86**, 1254; DOI: 10.1070/RCR4743].
8. C. Jiang, H. Fu, Y. Han, D. Li, H. Lin, B. Li, X. Meng, H. Peng, J. Chu, *Cryst. Res. Technol.*, 2019, **54**, 1800236; DOI: 10.1002/crat.201800236.
9. H. Zhang, P. Chen, L. Fang, *Acta Cryst.*, 2006, **E62**, m658; DOI: 10.1107/S1600536806006751.
10. X.-F. Sun, P.-F. Li, W.-Q. Liao, Z. Wang, J. Gao, H.-Y. Ye, Y. Zhang, *Inorg. Chem.*, 2017, **56**, 12193; DOI: 10.1021/acs.inorgchem.7b01553.
11. W. Depmeier, *Acta Cryst.*, 1977, **B33**, 3713; DOI: 10.1107/S0567740877011911.
12. М. А. Захаров, Ю. В. Филатова, М. А. Быков, Н. В. Авраменко, Л. А. Асланов, *Координац. химия*, 2020, **46**, 249 [M. A. Zakharov, Yu. V. Filatova, M. A. Bykov, N. V. Avramenko, L. A. Aslanov, *Russ. J. Coord. Chem.*, 2020, **46**, 268; DOI: 10.1134/S1070328420040077].
13. G. M. Sheldrick, *Acta Cryst.*, 2015, **C71**, 3; DOI: 10.1107/S2053229614024218.
14. L. J. Farrugia, *J. Appl. Cryst.*, 1999, **32**, 837; DOI: 10.1107/S0021889899006020.
15. *Diamond: Crystal and Molecular Structure Visualization*, Bonn, Crystal Impact, 2014.

Поступила в редакцию 17 января 2022;
после доработки — 21 марта 2022;
принята к публикации 21 апреля