

П. Н. Гапоник, С. В. Войтехович, А. С. Ляхов, И. И. Маруда

РЕГИОСЕЛЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗАМЕЩЕННЫХ СОЛЕЙ ТЕТРАЗОЛИЯ

Кватернизацией 1- и 2-моно- и 1,5-дизамещенных тетразолов диацетоновым спиртом в среде хлорной кислоты региоселективно и с высокими выходами получены соответственно 1,4- и 1,3-ди-, а также 1,3,5-тризамещенные соли тетразолия. Выполнен рентгеноструктурный анализ перхлората 1-(2-метилпентан-4-он-2-ил)-4-метилтетразолия.

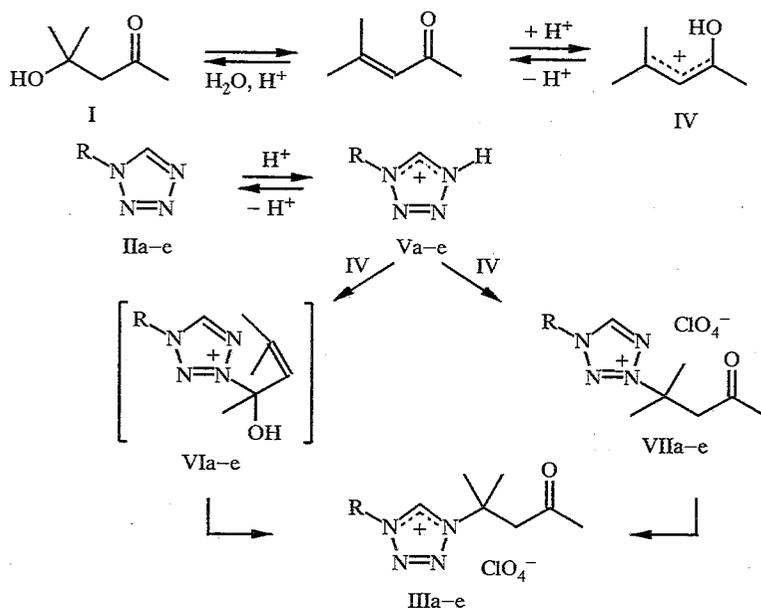
Кватернизация тетразолов — один из наиболее распространенных методов синтеза 1,3(1,4)-ди- и 1,3,5(1,4,5)-тризамещенных солей тетразолия, имеющих широкие синтетические возможности в качестве генераторов карбенов, предшественников реакционноспособных тетразолинов, различных биполярных ионных систем и др. [1]. Но применение этого метода ограничивается узким кругом солей, что связано с недостаточной селективностью процессов их синтеза и небольшим числом изученных кватернизирующих агентов, особенно функционально замещенных [2, 3].

Результаты кватернизации N-замещенных тетразолов в кислотных средах (HBF_4 , H_2SO_4 , HClO_4) с помощью 2-метил-2-пропанола [4, 5] и 1-адамантанола [6], а также α -ферроценилалкилкарбинолов в двухфазных системах CH_2Cl_2 —водный раствор кислоты [7] показали перспективность предложенных подходов к региоселективному синтезу солей тетразолия.

В развитие исследований кватернизации в кислых средах, а также с целью вовлечения в эти реакции функционально замещенных спиртов в данной работе изучено поведение диацетонового спирта (I) по отношению к различным N-замещенным тетразолам в среде HClO_4 . При этом неожиданно из 1-монозамещенных тетразолов II получены исключительно 1,4-дизамещенные соли тетразолия III с хорошим выходом (табл. 1). Эти результаты существенно отличаются от данных по *трет*-бутилированию указанных тетразолов, где наблюдалось преимущественное (в 48% HBF_4) [4] либо региоселективное (в 72% HClO_4) [8] образование 1,3-солей тетразолия с последующей медленной (4 сут) изомеризацией их в 1,4-соли [8]. Такое различие, очевидно, обусловлено природой кватернизирующих агентов. Как известно, при растворении индивидуального спирта I в кислотах устанавливается равновесие спирт I—окись мезитила [9]; последняя протонируется с образованием мезомерного катиона IV [10]. 1R-Тетразол II протонируется по наиболее нуклеофильному атому азота $\text{N}_{(4)}$ [1, 11], превращаясь в катион 1R-4H-тетразолия V, который может атаковать карбокатион IV по этому как $\text{C}_{(2)}$, так и $\text{C}_{(4)}$. Образующиеся при этом нестабильный интермедиат VI и катион 3-(2-метилпентан-4-он-2-ил)-1R-тетразолия (VII) изомеризуются в термодинамически более стабильный катион 1-(2-метилпентан-4-он-2-ил)-4R-тетразолия (III).

Данные по кватернизации 1-метилтетразола (IIa) спиртом I в ампуле спектрометра ПМР частично подтверждают предложенный механизм. Так, перхлорат VIIa спектрально обнаружен в реакционной смеси (синглет протона 5-H соли VIIa наблюдается в ее спектре ПМР при 9,91 м. д., тогда как сигналы аналогичных протонов индивидуальных соли IIIa и протонированной формы 1-метилтетразола Va в тех же условиях очень близки и проявляются в области 10,59...10,62 м. д. Изменение содержания перхлората VIIa в смеси в процессе синтеза указывает на его изомеризацию

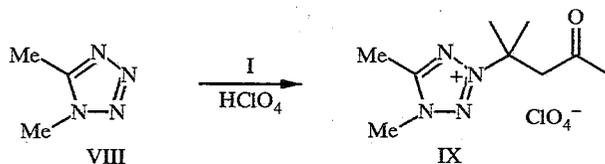
в соль IIIa. Так, мольная доля соли VIIa относительно суммарного количества солей IIIa, Va, VIIa (оценено по интенсивностям указанных выше синглетов в спектре ПМР) вначале растет до 0,14 (через 1,5 ч после начала реакции), а затем падает (0,12 через 3,5 ч, 0,7 — через 6,5 ч) и достигает 0,01 через 12 ч.



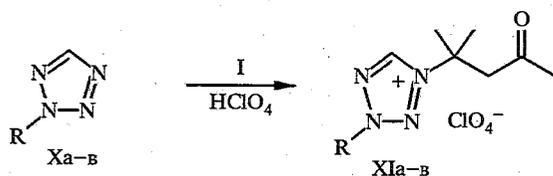
II, III, V–VII a R = Me, б R = *cyclo*-C₆H₁₁, в R = CH₂Ph,
г R = Ph, д R = *p*-MeOC₆H₄, e R = *m*-NO₂C₆H₄

Легкость, с которой катион IV реагирует с 1-замещенными тетразолами, побудила нас к исследованию этих реакций в менее кислых средах. На примере тетразола IIa показано, что в результате его кватернизации в продажной (~60%) и в более разбавленной (до 40%) HClO₄ также региоселективно образуется 1,4-соль IIIa. По-видимому, в данном случае генерирование карбокатиона и гетеролиз экзоциклической связи N—C(CH₃)₂CH₂COCH₃ в соединениях VII, необходимые для протекания процессов кватернизации и изомеризации, требуют значительно меньшей концентрации кислоты, чем в случае *N*-*tert*-бутирования тетразолов [8, 12].

При алкилировании 1,5-диметилтетразола (VIII) изомеризация согласно указанной схеме, по-видимому, затруднена из-за стерических препятствий и процесс кватернизации, как и в случае *tert*-бутирования [4], завершается образованием 1,3,5-тризамещенной соли IX.



2-Замещенные тетразолы X, имеющие лишь один способный кватернизоваться нуклеофильный центр — атом N(4) [1, 13], образуют, как и при действии других алкилирующих агентов [1, 4], 1,3-дизамещенные соли XI.

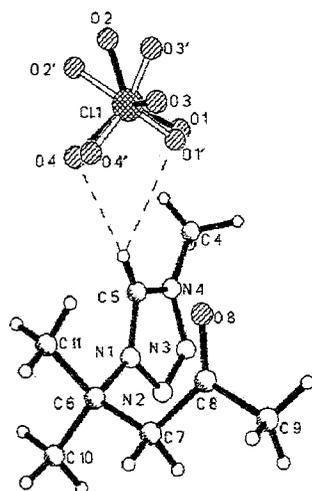


X–XI a R = Me, б R = Et, в R = *i*-Pr

Очевидно, что если заместитель R способен генерировать в кислых средах достаточно стабильный карбокатион, то процесс кватернизации будет сопровождаться изомеризацией, с миграцией группы R к атому N(4) и наряду с 1,3- будут образовываться 1,4-дизамещенные соли тетразолия. Такое явление мы наблюдали при длительном выдерживании (7 сут) смеси 2-*трет*-бутилтетразола и спирта I в хлорной кислоте: с выходом 72% получена смесь изомерных 1-(2-метилпентан-4-он-2-ил)-N-*трет*-бутилтетразолиев с преобладанием все же 1,3-изомера. (Молярное соотношение изомеров (1 : 0,6) оценено сравнением интенсивностей синглетов протонов 5-Н, проявляющихся в спектре ПМР смеси при 11,25 и 10,57 м. д.). В случае же 1-адамантанола подобный процесс происходит значительно быстрее, чем, по-видимому, и объясняется образование соли 1,4-диадамантилтетразолия при кватернизации 2-адамантилтетразола 1-адамантанолом в 95% H₂SO₄ уже в течение 2 ч [6].

Соединения III и XI отнесены к 1,4- и 1,3-солям соответственно на основании их спектральных (ПМР) характеристик (табл. 1), сопоставленных с аналогичными данными для известных солей тетразолия [4]. Так, величины химических сдвигов δ протонов 5-Н в спектрах ПМР 1,3- и 1,4-солей существенно различаются. Для 1,4-солей III эта величина составляет 11,30...11,52 м. д., а для 1,3-солей XI в аналогичных условиях — 10,52...10,57 м. д. Соль IX отнесена к 1,3,5-солям на основании близости ее спектральных характеристик (ЯМР ¹H, ¹³C) характеристикам ранее описанных солей 1R-3R'-5-метилтетразолиев [4, 13].

Рентгеноструктурный анализ, выполненный для соли IIIа, подтверждает ее строение, предложенное на основании спектров ПМР. На рисунке показан фрагмент кристаллической структуры соли IIIа. Отметим, что в литературе



Фрагмент кристаллической структуры IIIа.
Пунктирными линиями показаны возможные водородные связи

отсутствуют сведения о структуре 1,4-солей тетразолия. Тетразольный цикл в катионе, как и в других исследованных производных тетразола, — плоский (среднее отклонение атомов цикла от среднеквадратичной плоскости 0,001 Å). Обращает на себя внимание тот факт, что в указанном катионе тетразолия длины эндоциклических связей C(5)—N(1) и C(5)—N(4) практически одинаковы (табл. 2) и имеют промежуточное значение между длинами двойной и одинарной связей, а наиболее короткой является связь N(2)—N(3), которая по длине близка к двойной связи (1,24 Å). Эти данные позволяют приписать катиону 1-(2-метилпентан-4-он-2-ил)-4-метилтетразолия структурную формулу IIIа с делокализованным избыточным положительным

Характеристики синтезированных соединений

Соединение	Брутто-формула	Найлено, % Вычислено, %				Спектр ПМР, δ , м. д.	$T_{пл}$, °С	Выход, %
		С	Н	N	Cl			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
IIIa	$C_8H_{15}ClN_4O_5$	<u>34.12</u> 33,99	<u>5.23</u> 5,35	<u>19.96</u> 19,82	<u>12.34</u> 12,54	11,34 (1H, с, HC _{цикл}); 4,32 (3H, с, CH ₃ -N); 3,40 (2H, с, CH ₂ CO); 2,08 (3H, с, CH ₃ CO); 1,75 (6H, с, 2-CH ₃ -C)	120...122	72
IIIб	$C_{13}H_{23}ClN_4O_5$	<u>44.34</u> 44,51	<u>6.35</u> 6,61	<u>16.16</u> 15,97	<u>9.89</u> 10,11	11,30 (1H, с, HC _{цикл}); 4,84 (1H, м, CH-N); 3,39 (2H, с, CH ₂ CO); 2,09 (3H, с, CH ₃ CO); 1,76 (6H, с, 2-CH ₃ -C); 1,00...2,40 (10H, м, (CH ₂) ₅)	146...148	63
IIIв	$C_{14}H_{19}ClN_4O_5$	<u>46.99</u> 46,87	<u>5.40</u> 5,34	<u>15.49</u> 15,62	<u>9.76</u> 9,88	11,52 (1H, с, HC _{цикл}); 7,20...7,60 (5H, м, Наром); 5,92 (2H, с, CH ₂ C ₆ H ₅); 3,38 (2H, с, CH ₂ CO); 2,09 (3H, с, CH ₃ CO); 1,77 (6H, с, 2-CH ₃ -C)	113...115	77
IIIг	$C_{13}H_{17}ClN_4O_5$	<u>45.40</u> 45,29	<u>5.07</u> 4,97	<u>16.28</u> 16,25	<u>10.45</u> 10,28	10,73* (1H, с, HC _{цикл}); 7,70...7,99 (5H, м, Наром); 3,39 (2H, с, CH ₂ CO); 2,09 (3H, с, CH ₃ CO); 1,80 (6H, с, 2-CH ₃ -C)	132...134	88
IIIд	$C_{14}H_{19}ClN_4O_6$	<u>44.99</u> 44,87	<u>5.19</u> 5,11	<u>15.19</u> 14,95	<u>9.30</u> 9,46	10,65* (1H, с, HC _{цикл}); 7,83 (2H, м, Наром); 7,20 (2H, м, Наром); 3,89 (3H, с, CH ₃ O); 3,37 (2H, с, CH ₂ O); 2,09 (3H, с, CH ₃ CO); 1,88 (6H, с, 2-CH ₃ -C)	122...124	94
IIIe	$C_{13}H_{18}ClN_5O_7$	<u>40.10</u> 40,07	<u>4.01</u> 4,14	<u>18.09</u> 17,97	<u>9.11</u> 9,10	10,92* (1H, с, HC _{цикл}); 8,77 (1H, м, Наром); 8,59 (1H, м, Наром); 8,38 (1H, м, Наром); 7,99 (1H, м, Наром); 3,41 (2H, с, CH ₂ CO); 2,11 (3H, с, CH ₃ CO); 1,90 (6H, с, 2-CH ₃ -C)	> 112 разл	88

1	2	3	4	5	6	7	8	9
IX	$C_9H_{17}ClN_4O_5$	<u>37.01</u> 36,44	<u>5.56</u> 5,78	<u>19.17</u> 18,88	<u>11.68</u> 11,95	4,27 (3H, с, CH_3-N); 3,49 (2H, с, CH_2CO); 2,75 (3H, с, $CH_3-C_{цикл}$); 2,11 (3H, с, CH_3CO); 1,76 (6H, с, 2- CH_3-C); ЯМР ^{13}C : 208,54 (C=O); 162,79 (C _{цикл}); 73,99 ((CH_3) ₂ C-N); 54,43 (CH_2); 40,59 (CH_3-N); 34,49 (CH_3-CO); 30,11 ((CH_3) ₂ C-N); 13,01 ($CH_3-C_{цикл}$)	115...117	75
XIa	$C_8H_{15}ClN_4O_5$	<u>33.54</u> 33,99	<u>5.06</u> 5,35	<u>20.08</u> 19,82	<u>12.36</u> 12,54	10,52 (1H, с, $H_{C_{цикл}}$); 4,65 (3H, с, Me-N); 3,40 (2H, с, CH_2CO); 2,07 (3H, с, CH_3CO); 1,76 (6H, с, 2- CH_3-C)	133...135	94
XIб	$C_9H_{17}ClN_4O_5$	<u>36.08</u> 36,44	<u>5.90</u> 5,78	<u>18.78</u> 18,88	<u>11.69</u> 11,95	10,55 (1H, с, $H_{C_{цикл}}$); 4,98 (2H, к, CH_2-N); 1,62 (3H, т, CH_3-C); 3,39 (2H, с, CH_2CO); 2,03 (3H, с, CH_3CO); 1,77 (6H, с, 2- CH_3-C)	79...81	63
XIв	$C_{10}H_{19}ClN_4O_5$	<u>38.13</u> 38,66	<u>5.79</u> 6,16	<u>18.15</u> 18,03	<u>11.08</u> 11,41	10,57 (1H, с, $H_{C_{цикл}}$); 5,39 (1H, м, $CH-N$); 3,40 (2H, с, CH_2CO); 2,09 (3H, с, CH_3CO); 1,79 (6H, с, 2- CH_3-C); 1,66 (2H, д, CH_3-C)	69...71	70

* Растворитель CD_3CN . При растворении в ДМСО соли разлагаются с выделением свободного азота, подобно разложению 1,4-дизамещенных солей тетразолия под действием оснований [14].

Длины связей и валентные углы в структуре IIIa

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град.}$
N(1)—C(5)	1,317(4)	C(5)—N(1)—N(2)	108,4(2)
N(1)—N(2)	1,361(3)	C(5)—N(1)—C(6)	131,5(2)
N(1)—C(6)	1,504(4)	N(2)—N(1)—C(6)	120,1(2)
N(2)—N(3)	1,276(4)	N(3)—N(2)—N(1)	108,0(2)
N(3)—N(4)	1,349(3)	N(2)—N(3)—N(4)	107,9(2)
N(4)—C(5)	1,315(4)	C(5)—N(4)—N(3)	109,1(3)
N(4)—C(4)	1,468(4)	C(5)—N(4)—C(4)	129,4(3)
C(6)—C(10)	1,520(4)	N(3)—N(4)—C(4)	121,4(3)
C(6)—C(11)	1,529(4)	N(4)—C(5)—N(1)	106,6(2)
C(6)—C(7)	1,534(4)	N(1)—C(6)—C(10)	107,2(3)
C(7)—C(8)	1,509(4)	N(1)—C(6)—C(11)	108,0(2)
C(8)—O(8)	1,207(4)	C(10)—C(6)—C(11)	110,4(3)
C(8)—C(9)	1,499(4)	N(1)—C(6)—C(7)	107,4(2)
O(1)—Cl(1)	1,43(1)	C(10)—C(6)—C(7)	110,6(3)
O(2)—Cl(1)	1,339(6)	C(11)—C(6)—C(7)	113,0(3)
O(3)—Cl(1)	1,441(5)	C(8)—C(7)—C(6)	117,3(2)
O(4)—Cl(1)	1,401(5)	O(8)—C(8)—C(9)	121,9(3)
O(1')—Cl(1)	1,39(2)	O(8)—C(8)—C(7)	122,4(3)
O(2')—Cl(1)	1,51(1)	C(9)—C(8)—C(7)	115,7(3)
O(3')—Cl(1)	1,32(1)	O(1)—Cl(1)—O(2)	109,0(6)
O(4')—Cl(1)	1,27(2)	O(1)—Cl(1)—O(3)	108,1(5)
		O(1)—Cl(1)—O(4)	108,5(5)
		O(2)—Cl(1)—O(3)	110,5(6)
		O(2)—Cl(1)—O(4)	114,1(6)
		O(3)—Cl(1)—O(4)	106,3(5)
		O(1')—Cl(1)—O(2')	112(2)
		O(1')—Cl(1)—O(3')	116(2)
		O(1')—Cl(1)—O(4')	110(2)
		O(2')—Cl(1)—O(3')	101(1)
		O(2')—Cl(1)—O(4')	101(2)
		O(3')—Cl(1)—O(4')	116(2)

зарядом в фрагменте N(4)—C(5)—N(1). Атомы N(1) и N(4) имеют плоскотригональную конфигурацию связей — суммы валентных углов при этих атомах равны $360,0^\circ$. Величины валентных углов в цикле равны (углы при атомах N(2) и N(3)) или близки (углы при атомах N(1) и N(4)) значению углов правильного пятиугольника ($108,0^\circ$). Наименьший угол в цикле (при атоме C(5)) равен $106,6(2)^\circ$, наибольший (при атоме N(4)) — $109,1(3)^\circ$, тогда как значения валентных углов в цикле 1,3,5-солей находятся в интервале $103,0...115,5^\circ$ [1] и $104,0...114,8^\circ$ [5]. Полученные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на наличие объемного заместителя у N(1), строение 1,4-дизамещенного тетразольного цикла близко к симметричному. Длины же экзоциклических связей N—C_{алкил} в катионе IIIa близки значениям длин соответствующих связей в 1,3,5-тризамещенных солях тетразолия [1, 5]. Из данных ПМР следует, что атом водорода при C(5) соли IIIa довольно подвижен, а следовательно, склонен участвовать в образовании водородной связи. Однако анализ структуры указывает на отсутствие явно укороченных внутримолекулярных и межмолекулярных контактов. Известно также, что перхлорат-анион является слабокоординирующимся анионом, вследствие чего в большинстве структур обнаруживает значительные либрационные

Координаты ($\times 10^4$) и эквивалентные изотропные тепловые параметры ($\text{Å} \times 10^3$) атомов в структуре IIIa

Атом	x/a	y/b	z/c	$U(\text{eq})$
N(1)	2673(2)	6327(3)	7586(2)	43(1)
N(2)	3364(2)	6681(4)	6846(2)	59(1)
N(3)	2611(2)	6916(4)	6156(2)	58(1)
N(4)	1436(2)	6724(3)	6441(2)	46(1)
C(4)	347(3)	6901(5)	5803(3)	58(1)
C(5)	1482(3)	6361(3)	7322(2)	45(1)
C(6)	3311(3)	6025(3)	8510(2)	46(1)
C(7)	3841(3)	7647(4)	8859(2)	50(1)
C(8)	2937(3)	9039(3)	8926(2)	49(1)
C(9)	3505(4)	10629(4)	9208(3)	69(1)
C(10)	4360(3)	4824(4)	8366(3)	63(1)
C(11)	2347(3)	5306(4)	9142(2)	54(1)
O(8)	1829(2)	8889(3)	8763(2)	60(1)
O(1)*	1390(10)	2712(12)	7433(7)	92(3)
O(2)*	2920(6)	1385(17)	6723(7)	149(4)
O(3)*	1670(12)	3112(8)	5872(4)	116(3)
O(4)*	866(7)	738(7)	6373(6)	110(3)
O(1')* ²	1214(19)	2640(40)	7360(19)	102(9)
O(2')* ²	2470(20)	420(20)	6851(14)	117(7)
O(3')* ²	2620(30)	2800(30)	6210(20)	154(11)
O(4')* ²	900(20)	1360(50)	6070(20)	229(19)
Cl(1)	1749(1)	1937(1)	6604(1)	56(1)

* Заселенность позиции 0,715(16).
*² Заселенность позиции 0,285(16).

движения. В изученной нами структуре подобные движения, вероятно, также имеют место: перхлорат-анион разупорядочен по двум позициям (рис.). Однако делать вывод об отсутствии специфических взаимодействий между атомами кислорода перхлорат-аниона и атомом водорода при C(5), по-видимому, нельзя. Кратчайшее расстояние между атомом водорода при C(5) и атомом кислорода O(4) перхлорат-аниона в позиции с заселенностью 0,715(16) составляет 2,37(3) Å ($d(\text{C}(5)\dots\text{O}(4)) = 3,252(9)$ Å, $\omega(\text{C}(5) - \text{H}\dots\text{O}(4)) = 175(3)^\circ$), а с атомом кислорода O(1') аниона в позиции с заселенностью 0,285(16)—2,47(3) Å ($d(\text{C}(5)\dots\text{O}(1')) = 3,13(2)$ Å, $\omega(\text{C}(5) - \text{H}\dots\text{O}(1')) = 132(3)^\circ$). Такая ситуация свидетельствует, вероятно, о некоторой фиксации либрационных движений перхлорат-аниона за счет слабых взаимодействий C—H...O [15], однако окончательный вывод можно будет сделать после проведения низкотемпературного эксперимента.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР растворов солей в $(\text{CD}_3)_2\text{SO}$ записаны на спектрометре Tesla BS-567A при рабочих частотах 100 МГц (^1H) и 25,142 МГц (^{13}C). Исходные 1-замещенные тетразолы получены гетероциклизацией соответствующих аминов [16], 2-метил-, 2-этил- и 1,5-диметилтетразолы — алкилированием тетразола и 5-метилтетразола алкилгалогенидами по методу, аналогичному [17]; 2-изопропил- и 2-трет-бутилтетразолы синтезированы по методу [11].

Для рентгенодифракционного эксперимента был отобран кристалл соли IIIa ($0,5 \times 0,25 \times 0,15$ мм). Трехмерный набор интенсивностей собран на автоматическом дифрактометре Nicolet R3m: MoK α -излучение, графитовый монохроматор, $\theta/2\theta$ -сканирование, $2\theta_{\text{max}} = 55^\circ$. Общее количество измеренных отражений 3096, независимых — 2970 ($R_{\text{int}} = 0,0406$). Кристаллы IIIa 1228

(C₈H₁₅N₄OClO₄) моноклинные; пр. гр. P2₁/c. Параметры элементарной ячейки: $a = 10,705(4)$, $b = 8,269(3)$, $c = 14,543(6)$ Å, $\beta = 92,33(3)^\circ$, $V = 1286,3(9)$ Å³, $Z = 4$, $d_{\text{рентг}} = 1,460$ г/см³, $\mu = 3,17$ см⁻¹. Структура решена прямым методом. Атомы водорода локализованы из разностного синтеза Фуры (за исключением атомов водорода метильной группы C(9)H₃, положения которых рассчитаны геометрически). Уточнение проведено полноматричным МНК с учетом анизотропии тепловых колебаний неводородных атомов. Атомы водорода уточнены изотропно (метильной группы C(9)H₃ — в рамках «riding» модели). Окончательные значения факторов недостоверности: $R_1 = 0,0601$, $wR_2 = 0,1542$ ($I > 4\sigma(I)$); $R_1 = 0,0865$, $wR_2 = 0,1927$ (все данные); добротность подгонки $\text{Goof} = 1,062$. Все расчеты выполнены по программам SHELX-97 [18—20]. В табл. 3 приведены координаты и эквивалентные изотропные тепловые параметры атомов в структуре IIIa.

Общая методика синтеза солей III, IX, XI. К раствору тетразола II, VIII, X (0,06 моль) в 25 мл HClO₄ (72%) добавляют 7,14 г (0,07 моль) диацетонового спирта и выдерживают 12 ч при комнатной температуре (для тетразолов X 48 ч). Продукт осаждают добавлением 50 мл воды. В случае тетразолов Ia,б продукт выделяют добавлением 30 мл пропанола-2 и охлаждением раствора до 0 °С. Перекристаллизовывали из этанола. Соль IIIe перекристаллизовывают из смеси пропанол-2—ацетонитрил, 1 : 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Butler R. N. // *Comprehensive Heterocyclic Chemistry*. II / Ed. A. R. Katritzky, C. W. Rees, E. F. V. Scriven. — Oxford: Pergamon Press, 1996. — Vol. 4. — P. 621.
2. Семенов В. В., Богданов В. С., Эльянов В. С., Мельникова Л. Г., Шевелев С. А., Жулин В. М., Файнзильберг А. А. // ХГС. — 1982. — № 8. — С. 1118.
3. Moderhack D., Bode D.-O. // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I*. — 1992. — P. 1483.
4. Гапоник П. Н., Григорьев Ю. В., Андреева Т. Н., Маруда И. И. // ХГС. — 1995. — № 7. — С. 915.
5. Гапоник П. Н., Войтехович С. В., Ивашкевич О. А., Ляхов А. С., Говорова А. А. // ХГС. — 1998. — № 5. — С. 657.
6. Сараев В. В., Голод Е. Л. // ЖОрХ. — 1997. — Т. 33. — С. 629.
7. Боев В. И., Красников Е. М., Мокаленко А. И., Пилько Е. И., Снегур Л. В., Бабин В. Н., Некрасов Ю. С. // ЖОХ. — 1997. — Т. 67. — С. 1386.
8. Garonik P. N., Voïtekhovich S. V., Maruda I. I., Kulak A. A., Ivashkevich O. A. // *Polish J. Chem.* — 1998. — Vol. 72. — P. 2247.
9. Kim Y. K., Hatfield J. D. // *J. Chem. Eng. Data*. — 1985. — Vol. 30. — P. 149.
10. Deno N. C., Richey H. C., Friedmann N., Hodye J. J., Pittman C. U. Jr. // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1963. — Vol. 85. — P. 2991.
11. Корень А. О., Гапоник П. Н. // ХГС. — 1990. — № 12. — С. 1643.
12. Гапоник П. Н., Войтехович С. В. // ЖОрХ. — 1998. — Т. 34. — С. 788.
13. Garonik P. N., Ivashkevich O. A., Naumenko V. N., Kovalyova T. B., Andreeva T. N., Koren A. O. // *Spectrochim. acta*. — 1993. — Vol. 49A. — P. 135.
14. Zimmerman D. M., Olofson R. A. // *Tetrah. Lett.* — 1970. — N 39. — P. 3453.
15. Виноградов С. // Молекулярные взаимодействия / Под ред. Г. Ратайчака, У. Орвилла-Томаса. — М.: Мир, 1988. — С. 184.
16. Гапоник П. Н., Каравай В. П., Григорьев Ю. В. // ХГС. — 1985. — № 11. — С. 1521.
17. Гапоник П. Н., Каравай В. П., Чернавина Н. И. // *Вестник Белорус. ун-та*. Сер. 2. — 1983. — № 2. — С. 23.
18. Sheldrick G. M. Programm for crystal structure refinement. — Univ. Goettingen, 1997.
19. Sheldrick G. M. // *Acta crystallogr.* — 1990. — Vol. A46. — P. 467.
20. Sheldrick G. M., Dauter Z., Wilson K. S., Hope H., Sieker L. // *Acta crystallogr.* — 1993. — Vol. D49. — P. 18.