

Н. А. Резекина, Э. В. Рахманов, Е. В. Луковская, А. А. Бобылева,  
А. А. Абрамов, В. А. Чертков, А. В. Хорошутин, А. В. Анисимов

СИНТЕЗ И ЭКСТРАКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА  
ОКСАТИАКРАУН-СОЕДИНЕНИЙ С ФРАГМЕНТАМИ  
БЕНЗИЛЬНОГО ТИПА

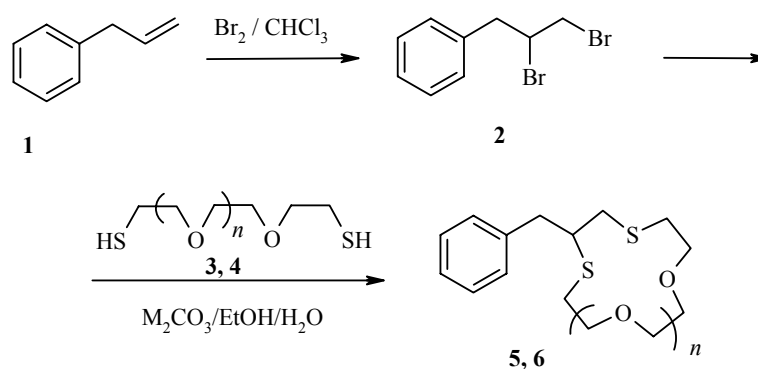
При взаимодействии 1-(2,3-дибромпропил)бензола с 1,8-димеркапто-3,6-диоксаоктаном и 1,11-димеркапто-3,6,9-триоксаундеканом получены 8-бензил-1,4-диокса-7,10-дитаициклододекан и 11-бензил-1,4,7-триокса-10,13-дитаициклопентадекан. Изучена экстракционная способность синтезированных соединений по отношению к ионам  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  из водных растворов в присутствии анионов разной степени жесткости с определением содержания металла радиометрическим методом.

**Ключевые слова:** дитиа-12(15)-краун-4(5)-эферы, ионы  $\text{Sr}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , комплексообразование, экстракция.

Способность тиакраун-эфиров к образованию комплексов с ионами тяжелых и переходных металлов стимулирует поиски новых эффективных и селективных лигандов этого класса [1]. В последние годы интенсивно изучаются оксатиакраун-эферы, содержащие различные заместители [2–9]. Однако экстракционная способность подобных соединений практически не изучена. Настоящая работа посвящена разработке метода синтеза новых оксатиакраун-соединений, связанных с ароматическими фрагментами через метиленовый мостик, и изучению их экстракционных свойств; бензооксатиа- и другие аннелированные краун-эферы не рассматриваются. Суть метода состоит в электрофильном присоединении брома по двойной связи аллильной группы с последующей макроциклизацией полученных соединений с различными дитиолами.

Поскольку одним из наиболее удобных методов получения тиакраунов является взаимодействие соответствующих дигалогенидов или дитозилатов с дитиолами [10, 11], выбранный в качестве исходного соединения аллилбензол (**1**) был превращен в 1-(2,3-дибромпропил)бензол (**2**) [12]. В качестве нуклеофилов использованы 1,8-димеркапто-3,6-диоксаоктан (**3**) и 1,11-димеркапто-3,6,9-триоксаундекан (**4**), синтезированный по методу [13].

8-Бензил-1,4-диокса-7,10-дитаициклододекан (**5**) и 11-бензил-1,4,7-триокса-10,13-дитаициклопентадекан (**6**) были получены в условиях высокого разбавления в присутствии темплатных реагентов –  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  по методу [14]. Особый интерес представляло детальное изучение спектров ЯМР соединений **5** и **6**, поскольку это важно для дальнейших конформационных исследований. В спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  макроциклов **5** и **6** количество



3, 5  $n = 1$ ; 4, 6  $n = 2$ ; M = Li, Cs

сигналов в алифатической области равно 9 и 11, что ясно подтверждает предполагаемые структуры. Интерпретация химических сдвигов сигналов была сделана на основе двухмерных экспериментов HETCOR и COSY. Последовательный анализ структуры мультиплетов в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  вместе с информацией по кросс-пикам в картах корреляции позволил сделать однозначное отнесение всех сигналов в спектрах ЯМР  $^{13}\text{C}$  и мультиплетов в ЯМР  $^1\text{H}$  (см. экспериментальную часть). Ключевой информацией для отнесений служили гетеронуклеарные связи  $^{13}\text{C}-^1\text{H}$ , полученные в экспериментах SESE (spin echo with selective excitation) [15]. Таким образом, стартовой точкой являлось отнесение бензильных сигналов групп  $\text{CH}_2$ , чьи атомы углерода спиново связаны с *орто*-протонами фенильных групп в обоих соединениях **5** и **6** [16, 17]. Мультиплеты в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  соединения **5** хорошо разрешены, за исключением единственного очень широкого мультиплета отдаленных протонов Н-2 и Н-3. Структура мультиплетов в спектрах соединения **6** более сложная. Тем не менее, большинство сигналов можно отнести, кроме отдаленных протонов Н-2, Н-3, Н-5 и Н-6. Химические сдвиги протонов циклических групп  $\text{CH}_2$ , присоединенных к кислороду и сере, лежат в пределах 3.50–3.86 и 2.40–3.36 м. д. соответственно. Диапазон экранирования отдаленных протонов значительно меньше, чем таковой протонов групп  $\text{CH}_2$ , присоединенных к сере, что хорошо согласуется с ранее полученными данными для 12-членных тиакраун-эфиров [18]. Примечательно, что в обоих макроциклах наблюдается экранирование псевдо-аксиальных протонов Н-6 (соединение **5**) и Н-9 (соединение **6**), которые более или менее одинаково подвергаются анизотропному влиянию соседних фенильных заместителей и серы, как показывают наши предварительные исследования (см., например [19]). В общем, наши наблюдения для соединений **5** и **6** показали, что, чем больше расстояние протонов макроциклического лиганда от заместителя, тем меньше его влияние на их химические сдвиги. Это ранее отмечалось для тиакраун- [18], краун- [19] и азакраун-эфиров [20].

Т а б л и ц а 1

## Условия синтеза соединений 5 и 6

Краун-эфир	Способ	Темплатный реагент, г (ммоль)	2, г (ммоль)	Дитиол, г (ммоль)		Объем EtOH-H <sub>2</sub> O, мл
				3	4	
5	1	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 0.19 (2.5)	0.14 (0.5)	0.1 (0.55)		200
	2	Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1.63 (5)	0.28 (1)	0.2 (1.1)		400
6		Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1.63 (5)	1.4 (5)		1.2 (5.3)	400

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты распределения Sr(II) и Pb(II) при экстракции  $1.5 \times 10^{-2}$  моль/л раствором 8-бензил-1,4-диокса-7,10-дитиацклододекана в дихлорэтане

Водная фаза	Концентрация M(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , моль/л									
	10 <sup>-2</sup>		5 × 10 <sup>-3</sup>		2 × 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-4</sup>	
	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>
H <sub>2</sub> O	0.12	–	0.15	–	0.2	–	0.26	–	0.3	–
3 моль/л HNO <sub>3</sub>	0.2	4 × 10 <sup>-3</sup>	0.4	6 × 10 <sup>-3</sup>	0.5	8 × 10 <sup>-3</sup>	0.55	9 × 10 <sup>-3</sup>	0.6	0.01
4 × 10 <sup>-3</sup> моль/л LiPi	0.3	0.8	0.8	1.2	1	1.6	1.2	1.8	1.5	2.2

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты распределения Sr(II) и Pb(II) при экстракции  $1.5 \times 10^{-2}$  моль/л раствором 11-бензил-1,4,7-триокса-10,13-дитиацклопентадекана в дихлорэтане

Водная фаза	Концентрация M(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , моль/л							
	5 × 10 <sup>-3</sup>		2 × 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-4</sup>	
	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2</sup>	Pb <sup>2+</sup>
H <sub>2</sub> O	0.2	–	0.25	–	0.27	–	0.42	–
3 моль/л HNO <sub>3</sub>	0.8	6 × 10 <sup>-3</sup>	1.2	7 × 10 <sup>-3</sup>	1.5	9 × 10 <sup>-3</sup>	2.2	15 × 10 <sup>-3</sup>
4 × 10 <sup>-3</sup> моль/л LiPi	0.6	0.45	1	0.68	1.5	0.95	2	1.35

Что касается изучения комплексообразования с использованием дитиа-12(15)-краун-4(5)-эфиров, то известно, что незамещенный 15-членный макроцикл образует устойчивые комплексы с Ag(I) [21] и с ионами металлов платиновой группы [22]. В первом случае осуществляется координация иона металла как с атомами серы, так и кислорода, а во втором – только с атомами серы. Сообщалось также [22], что 12-членный макроцикл, иммобилизованный через сложноэфирную группу на SiO<sub>2</sub>, является эффективным комплексообразующим адсорбентом для ионов Ag(I), Au(III), Hg(II) [8]. Экстракционную способность синтезированных в настоящей работе соединений **5** и **6** изучали на примере "жесткого" катиона Sr(II) и "промежуточного" Pb(II). Экстракцию проводили из растворов азотной кислоты и пикрата лития (LiPi). Как было показано ранее [23, 24], литий не является конкурентом стронцию и свинцу в данных условиях, а использование соли, а не пикриновой кислоты является предпочтительным, так как соль практически нацело диссоциирует в водном растворе, поставляя в качестве противоиона пикрат-анион.

Из полученных данных видно, что исследованные оксатиакраун-эфиры **5** и **6** преимущественно извлекают катион свинца из пикратных растворов. Это может свидетельствовать о том, что наличие атомов серы в гетероцикле способствует извлечению "промежуточных" и, по-видимому, "мягких" катионов металлов. Это в первом приближении соответствует концепции Пирсона и экспериментальным данным, полученным ранее в нашей лаборатории [25, 26]. Следует отметить и другой интересный факт. Во всех исследованных экстракционных системах наблюдается концентрационная зависимость коэффициентов распределения катионов металлов. Это явление известно в литературе [27, 28] и связано с диссоциацией экстрагируемых соединений в полярных растворителях, к которым относится и дихлорэтан. Диссоциация комплексов в органической фазе может привести к взаимному влиянию катионов металлов на экстракцию друг друга [27, 28], и тогда селективность выделения радионуклида будет зависеть от нескольких факторов, варьируя которые можно будет определять оптимальные условия для разделения радиоактивных изотопов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C регистрировали на спектрометре Varian XR-400 (400 и 100 МГц соответственно). Использовали 25% растворы образцов в CDCl<sub>3</sub>, внутренний стандарт ГМДС (δ 0.05 м. д.) (<sup>1</sup>H), и 30–50% растворы образцов в CDCl<sub>3</sub> (<sup>13</sup>C). Спектры оксатиакраун-эфиров идентифицировали методами COSY и HETCOR. Масс-спектры получали на приборе Finnigan MAT 112S с прямым вводом образца в ионный источник, ионизирующее напряжение 70 эВ. Контроль за ходом реакции и чистотой соединений проводили методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 в системах эфир–гексан, 1:1, и этилацетат–петролейный эфир, 1:1.

**1-(2,3-Дибромпропил)бензол (2)**. К раствору 20 г (0.17 моль) аллилбензола **1** в 125 мл CHCl<sub>3</sub> по каплям при перемешивании добавляют 28 г (0.175 моль) брома при 0–5 °С. Остаток после отгонки растворителя перегоняют в вакууме. Получают 44.2 г соединения **2**, т. кип. 126–128 °С (4 мм рт. ст.). Выход 94%. (Т. кип. 137–138 °С (8 мм рт. ст.) [29]). Масс-спектр: *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 278 [M]<sup>+</sup> (3), 199 (12), 118 (11), 91 (100), 65 (3.5), 58 (2). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д.: 3.09 (1H, д. д., *J* = 13.21, *J* = 5.43, CH<sub>2</sub>); 3.45 (1H, д. д., *J* = 13.23, *J* = 5.52, CH<sub>2</sub>); 3.58 (1H, д. д., *J* = 11.44, *J* = 9.11, CH<sub>2</sub>Br); 3.77 (1H, д. д., *J* = 11.44, *J* = 3.08, CH<sub>2</sub>Br); 4.31 (1H, м, CHBr); 7.25 (5H, м, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>H).

**1,11-Димеркапто-3,6,9-триоксаундекан (4).** Смесь 17.9 г (0.056 моль) 1,11-дибром-3,6,9-триоксаундекана, 8.9 г (0.12 моль) тиомочевины и 40 мл EtOH кипятят 12 ч. Раствор охлаждают и осторожно по каплям добавляют 96 мл 20% KOH. Смесь кипятят 4 ч. По окончании реакции смесь подкисляют разбавленной HCl до pH 2–3, затем растворяют в ней 25 г NaCl. Образуется масляная пленка. Вещество экстрагируют эфиром, эфирную вытяжку сушат CaCl<sub>2</sub>. После отгонки растворителя остаток перегоняют в вакууме. Выделяют 4.5 г бесцветной жидкости, т. кип. 142–143 °C (2 мм рт. ст.). Выход 36%. Масс-спектр:  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 167 (2), 133 (1), 107 (34), 61 (100), 45 (30). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.60 (1H, т,  $J = 7.26$ , SH); 2.68 (4H, д. д.,  $J = 10.23$ ,  $J = 7.26$ , CH<sub>2</sub>SH); 3.62 (12H, м, CH<sub>2</sub>O).

**8-Бензил-1,4-диокса-7,10-дитиациклододекан (5) и 11-бензил-1,4,7-триокса-10,13-дитиациклопентадекан (6)** (общая методика). К кипящему раствору Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> или Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в водном спирте, 1:1, при перемешивании в токе аргона одновременно прибавляют растворы дибромидов **2** и дитиолов **3** или **4** в 10 мл этанола каждый (количества и молярные соотношения реагентов приведены в табл. 1). Реакционную смесь кипятят 50 ч, упаривают, остаток экстрагируют горячим этилацетатом. Экстракты сушат CaCl<sub>2</sub>. Растворитель удаляют, остаток хроматографируют на силикагеле в системе EtOAc–петролейный эфир, 1:1.

**Соединение 5.** Способ 1: выход 15%. Способ 2: выход <1%. Масс-спектр:  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 298 [M]<sup>+</sup> (47), 265 (2), 238 (14), 207 (22), 176 (14), 148 (41), 117 (100), 91 (52), 61 (47), 45 (37). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 2.40 (1H, д. д. д.,  $J = 15.17$ ,  $J = 8.24$ ,  $J = 3.24$ , H-6<sub>a</sub>); 2.61 (1H, д. д.,  $J = 13.50$ ,  $J = 10.55$ , H-9<sub>cis</sub>); 2.64 (1H, д. д.,  $J = 14.02$ ,  $J = 9.04$ , CH<sub>2</sub>(a)C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 2.66 (1H, д. д. д.,  $J = 15.19$ ,  $J = 5.68$ ,  $J = 2.95$ , H-6b); 2.71 (2H, м, H-11); 3.27 (1H, д. д.,  $J = 13.98$ ,  $J = 4.07$ , CH<sub>2</sub>(b)C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 3.36 (1H, д. д.,  $J = 13.55$ ,  $J = 4.17$ , H-9<sub>trans</sub>); 3.50–3.60 (6H, м, H-2, H-3, H-5a, H-8); 3.70 (1H, д. т.,  $J_d = 10.55$ ,  $J_m = 5.30$ , H-12a); 3.74 (1H, д. д. д.,  $J = 10.48$ ,  $J = 5.68$ ,  $J = 3.27$ , H-5b); 3.87 (1H, д. т.,  $J = 10.52$ ,  $J = 4.76$ , H-12b); 7.20–7.28 (5H, м, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 31.11 (C<sub>(6)</sub>), 31.55 (C<sub>(11)</sub>), 38.13 (C<sub>(9)</sub>), 39.63 (CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 47.24 (C<sub>(8)</sub>), 70.27 и 70.47 (C<sub>(2)</sub>, C<sub>(3)</sub>), 73.41 (C<sub>(12)</sub>), 73.51 (C<sub>(5)</sub>), 126.07 (*p*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 127.95 (*m*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 129.60 (*o*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 139.34 (*ipso*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>). Найдено, %: C 60.15; H 7.45. C<sub>15</sub>H<sub>22</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 60.36; H 7.43.

**Соединение 6.** Выход 16%. Масс-спектр:  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 342 [M]<sup>+</sup> (52), 282 (5), 251 (0), 225 (7), 176 (31), 148 (38), 117 (100), 91 (35), 45 (35). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 2.53 (1H, д. т.,  $J = 14.47$ ,  $J = 6.4$ , H-9a); 2.63–2.82 (5H, м, H-9b, H-12<sub>trans</sub>, H-14, CH<sub>2</sub>(a)C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 3.11 (1H, д. д.,  $J = 13.68$ ,  $J = 4.33$ , H-12<sub>cis</sub>); 3.24 (1H, д. д.,  $J = 15.04$ ,  $J = 4.55$ , CH<sub>2</sub>(b)C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>); 3.27 (1H, м, H-11); 3.56–3.71 (10H, м, H-2, 3, 5, 6, 8); 3.74 (2H, т,  $J = 6.30$ , H-15); 7.26 (5H, м, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 30.92 (C<sub>(9)</sub>), 32.11 (C<sub>(14)</sub>), 38.22 (C<sub>(12)</sub>), 39.34 (CH<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 47.20 (C<sub>(11)</sub>), 70.12 и 70.24 (C<sub>(2)</sub>, C<sub>(6)</sub>), 71.05 и 71.06 (C<sub>(3)</sub>, C<sub>(5)</sub>), 72.20 (C<sub>(8)</sub>), 72.26 (C<sub>(15)</sub>), 126.21 (*p*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 128.01 (*m*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 129.49 (*o*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>), 139.01 (*ipso*-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>). Найдено, %: C 59.79; H 7.63. C<sub>17</sub>H<sub>26</sub>O<sub>3</sub>S<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 59.61; H 7.63.

**Экстракция катионов Sr(II), Pb(II).** Определение коэффициентов распределения Sr(II) и Pb(II) проводили радиометрически на жидкостном сцинтилляционном счетчике Canberra-Packard-2700, используя изотопы <sup>89</sup>Sr ( $T_{1/2} = 50.5$  дн,  $E_{\beta^- \text{ max}} = 1.492$  МэВ) и <sup>210</sup>Pb ( $T_{1/2} = 22.3$  года,  $E_{\beta^- \text{ max}} = 0.063$  МэВ) [16]. Поскольку максимальная энергия β-частиц Pb-210 низкая, то его регистрацию проводили по дочернему Bi-210 ( $T_{1/2} = 5$  дн,  $E_{\beta^- \text{ max}} = 1.16$  МэВ). Для установления радиоактивного равновесия между материнским Pb-210 и дочерним Bi-210 образцы для регистрации активности выдерживали приблизительно 25 дн от момента приготовления до начала регистрации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта научной программы "INTAS" (Grant 03-514696).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. G. Voronkov, V. I. Knutov, *Sulfur Reports*, **6**, 13 (1986).
2. A. Anantanarayan, P. Dutton, T. Fyles, M. J. Pitre, *J. Org. Chem.*, **51**, 752 (1986).
3. M. One, K. Akama, K. Kimura, K. Tanaka, T. Shono, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 1675 (1989).

4. J. S. Bradshaw, K. E. Krakowiak, R. M. Izatt, L. Brus, B. J. Tarbet, *J. Heterocycl. Chem.*, **27**, 347 (1990).
5. J. Buter, R. M. Kellog, F. van Bolhuis, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 910 (1991).
6. J. W. Sibert, S. J. Lange, D. J. Williams, A. G. M. Barrett, B. M. Hoffmann, D. J. William, *Inorg. Chem.*, **34**, 2300 (1995).
7. H.-J. Drexler, H. Reinke, H.-J. Holdt, *Chem. Ber.*, **129**, 807 (1996).
8. E. I. Troyansky, M. S. Pogosyan, N. M. Samoshina, G. I. Nikishin, V. V. Samoshin, L. K. Shpigun, N. E. Kopytova, P. M. Kamilova, *Mendeleev Commun.*, 9 (1996).
9. S. Karaböcek, I. Değirmenciöglü, N. Karaboček, *Trans. Metal Chem.*, **28**, 529 (2003).
10. C. S. Pedersen, *J. Am. Chem. Soc.*, **89**, 7017 (1967).
11. C. S. Pedersen, *J. Am. Chem. Soc.*, **92**, 391 (1970).
12. D. Pressman, W. G. Young, *J. Am. Chem. Soc.*, **66**, 705 (1944).
13. B. C. Cossar, J. O. Fournier, D. L. Fields, D. D. Reynolds, *J. Org. Chem.*, **27**, 93 (1962).
14. О. А. Федорова, А. И. Ведерников, О. В. Ещцулова, П. В. Цапенко, Ю. В. Першина, С. П. Громов, *Изв. АН, Сер. хим.*, 1881 (2000).
15. В. А. Чертков, Е. К. Добрецова, Д. В. Гремячинский, С. С. Голотвин, Н. А. Симонов, Л. П. Ватлина, В. В. Самошин, *ХГС*, 41 (1997).
16. L. Ernst, V. Wray, V. A. Chertkov, N. M. Sergeev, *J. Magn. Reson.*, **25**, 125 (1977).
17. P. E. Hansen, *Prog. NMR Spectroscopy*, **14**, 175 (1981).
18. V. V. Samoshin, E. I. Troyansky, D. V. Ditmchuk, R. F. Ismagilov, V. A. Chertkov, S. V. Lindeman, V. N. Khrustalyov, Y. T. Struchkov, *J. Phys. Org. Chem.*, **11**, 241 (1998).
19. M. Sirish, V. A. Chertkov, H.-Y. Schneider, *Chem.-Eur. J.*, 1181 (2002).
20. A. K. Shestakova, V. A. Chertkov, H.-J. Schneider, K. A. Lysenko, *Org. Lett.*, **3**, 325 (2001).
21. R. M. Izatt, R. E. Terry, L. D. Hansen, A. G. Avondet, Y. S. Bradshaw, N. L. Daily, T. E. Jensen, J. J. Christensen, B. D. Haymore, *Inorg. Chim. Acta*, **30**, 1 (1978).
22. A. J. Blake, G. Reid, M. Schröder, *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 3839 (1990).
23. Б. И. Фан, Э. Х. Эрнандес, А. А. Абрамов, Б. З. Иофа, *Вестн. МГУ*, **32**, сер. 2, 475 (1991).
24. G. G. Talanova, N. S. A. Elkarim, R. E. Hanes, H. S. Hwang, R. D. Rogers, R. A. Bartech, *J. Anal. Chem.*, **71**, 672 (1999).
25. А. А. Абрамов, А. В. Анисимов, А. А. Бобылева, *ХГС*, 243 (2002).
26. А. А. Калмыков, А. В. Арhipов, А. А. Абрамов, N. A. Ivanova, B. Z. Iofa, O. P. Pronina, Y. A. Sapoznikov, A. V. Anisimov, *J. Radioanal. Chem.*, **228**, 33 (1998).
27. А. А. Абрамов, *Вестн. МГУ*, **41**, сер. 2, 3 (2000).
28. А. А. Абрамов, С. В. Волкова, О. В. Дубовая, Б. З. Иофа, Н. А. Резекина, *Журн. неорганической химии*, **48**, 865 (2003).
29. D. Pressman, W. G. Young, *J. Am. Chem. Soc.*, **66**, 705 (1944).

Московский государственный  
университет им. М. В. Ломоносова,  
Москва 119899, Россия  
e-mail: anis@petrol.chem.msu.ru

Поступило в редакцию 29.11.2004