

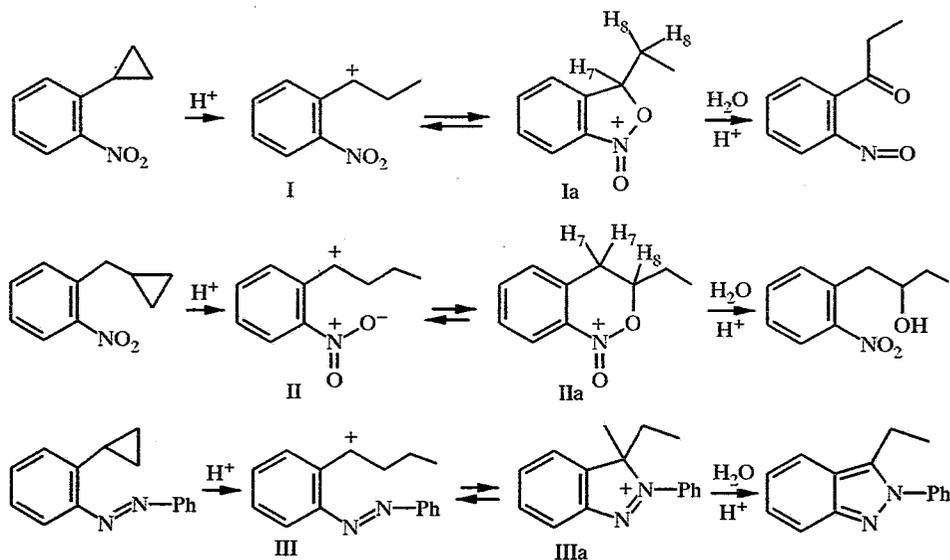
С. С. Мочалов, А. Н. Федотов, Т. Г. Кутателадзе,  
Е. В. Трофимова, Ю. С. Шабаров, Н. С. Зефиров

## 2-ЦИКЛОПРОПИЛБЕНЗОЙНЫЕ КИСЛОТЫ В СИНТЕЗЕ ФТАЛИДОВ И 3,4-ДИГИДРОИЗОКУМАРИНОВ

2-Циклопропилбензойные кислоты под действием сильных протонных кислот ( $\text{FSO}_3\text{H}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) превращаются в ионы 3-этилфталидия. В растворах указанных неорганических кислот ионы 3-этилфталидия изомеризуются в ионы 3-метил-3,4-дигидроизокумариния. В результате устанавливается термодинамическое равновесие, концентрация обоих типов циклических ионов в котором зависит от природы заместителя, находящегося в ароматической части субстрата. Нейтрализацией исходных растворов ионов 3-этилфталидия или смеси их с ионами 3-метил-3,4-дигидроизокумариния получены 3-этилфталиды или их смеси с 3-метил-3,4-дигидроизокумаринами. Нейтральные 3-этилфталиды и 3-метил-3,4-дигидроизокумарины под действием неорганических кислот также изомеризуются и образуют в каждом случае равновесную смесь ионов, концентрация которых отвечает концентрациям ионов, образовавшихся из соответствующих 2-циклопропилбензойных кислот.

Нитрогруппа, ее изоэлектронный аналог — азоксигруппа, а также азогруппа, пространственно сближенные с трехуглеродным циклом в соответствующим образом замещенных фенил- или бензилциклопропанах, могут проявлять свойства внутренних нуклеофилов и эффективно стабилизировать карбениевые ионы, возникающие при раскрытии циклопропановых колец в указанных субстратах под действием сильных протонных кислот [1—8]. В результате такой внутримолекулярной стабилизации образуются устойчивые гетероциклические ионы типа Ia—IIIa (см. схему 1) — интермедиаты, определяющие направление превращения исходных циклопропилзамещенных нитро-, азокси- или азобензолов в нейтральные продукты кислотно-катализируемых реакций.

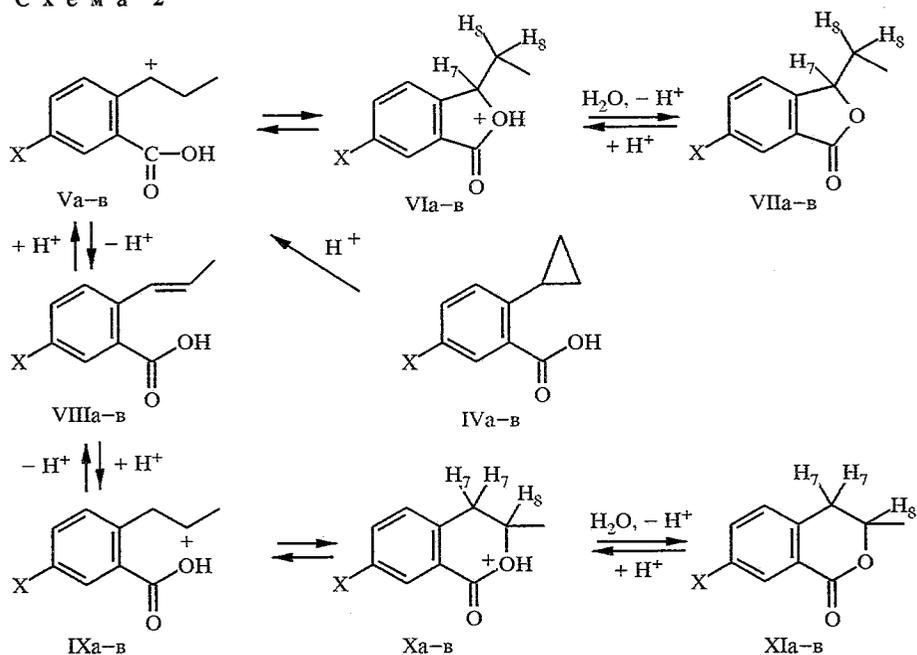
С х е м а 1



Процесс указанной внутримолекулярной стабилизации соответствующих карбениевых ионов типа I—III (схема 1) носит динамический характер, а гетероциклические ионы, образующиеся на кинетически контролируемой стадии реакции, способны с течением времени обратимо изомеризоваться в гетероциклические ионы иной структуры. В результате устанавливается термодинамическое равновесие, концентрация изомерных циклических ионов в котором зависит от природы заместителя, находящегося в ароматическом ядре в *para*-положении к возникающему карбениевому центру [4, 9—11].

В развитие найденных внутримолекулярных превращений *орто*-замещенных арилциклопропанов в настоящей работе изучены кислотно-катализируемые реакции 2-циклопропилбензойных кислот. Мы нашли, что карбоксигруппа в 2-циклопропилбензойных кислотах IVa—в, как и указанные группировки (см. схему 1), способна участвовать во внутримолекулярной стабилизации карбениевых ионов, возникающих при раскрытии циклопропанового кольца субстратов под действием фторсульфоновой кислоты или концентрированной серной. Причем, сразу же после смешения реагентов образуются исключительно циклические ионы пятизвенной структуры — протонированные 3-этилфталиды VIa—в (см. схему 2).

Схема 2



IV—XI a X = H, б X = Br, в X = Et

Оказалось, что ионы 3-этилфталидия VIa—в настолько стабильны в растворах использовавшихся неорганических кислот при 20 °С, что в заметной степени не изменялись в течение 24 ч (контроль методом ЯМР <sup>1</sup>H). Однако при более продолжительном времени контакта с кислотами (FSO<sub>3</sub>H, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) циклические ионы VIa—в постепенно изомеризуются в ионы шестизвенной структуры Xa—в и приблизительно через 2 месяца устанавливается термодинамическое равновесие, соотношение концентраций обоих типов ионов в котором, как оказалось, зависит от природы заместителя, расположенного в бензольном кольце в *para*-положении к алкильной цепи, в которой генерируется карбениевый центр (см. табл. 1).

Подобная зависимость равновесных концентраций ионов от природы заместителя, находящегося в бензольном кольце субстрата наблюдается для ионов N-оксо-3-этилбенз [2,1] изоксазолия и N-оксо-3-метилбенз [2,1] ок-

Содержание ионов VIa—в и Xa—в, образующихся из 2-циклопропилбензойных кислот IVa—в во фторсульфоновой кислоте на кинетически контролируемой стадии реакции и в условиях термодинамического равновесия

Исходная кислота	Соотношение ионов VIa—в и Xa—в, %*	
	время реакции 15 мин	время реакции 2 мес <sup>2</sup>
IVa	100 : 0	58 : 42
IVб	100 : 0	46 : 54
IVв	100 : 0	61 : 39

\* По данным спектров ЯМР <sup>1</sup>H.  
<sup>2</sup> По истечении указанного времени соотношение ионов не изменяется.

сазиния, имеющих структуры, близкие структурам ионов VIa—в и Xa—в, и которые образуются из 4-замещенных 2-нитрофенилциклопропанов под действием фторсульфоновой кислоты [4]. Отличительной особенностью в рассматриваемом сравнении равновесных концентраций пяти- и шестизвенных циклических ионов является только то, что состояние равновесия в случае замещенных 2-нитрофенилциклопропанов достигается за более длительное время (~3 месяца) [4], чем в случае соответствующих 2-циклопропилбензойных кислот (см. выше).

Обработка ледяной водой сернокислотных растворов солей 3-этилфталидия VIa—в, образовавшихся сразу после растворения 2-циклопропилбензойных кислот в концентрированной серной кислоте, приводит исключительно к 3-этилфталидам VIIa—в, тогда как подобная обработка сернокислотных растворов тех же кислот IVa—в, выдержанных в течение 2 месяцев при 20 °С, дает в каждом случае два нейтральных продукта реакции — 3-этилфталид и 3-метил-3,4-дигидроизокумарин — в соотношении, отвечающем равновесной концентрации соответствующих циклических ионов (см. табл. 1 и экспериментальную часть).

Строение циклических ионов VIa—в и Xa—в и образующихся из них нейтральных фталидов VIIa—в и 3-метил-3,4-дигидроизокумаринов XIa—в подтверждено данными спектров ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C и ИК спектроскопии, а также масс-спектрометрии (см. табл. 2).

В спектрах ЯМР <sup>1</sup>H химические сдвиги сигналов протонов алифатической части ионов, образующихся сразу же после смешения 2-циклопропилбензойных кислот с фторсульфоновой кислотой коррелируют с соответствующими химическими сдвигами сигналов протонов пятизвенных циклических ионов, получающихся из 2-нитрофенилциклопропанов в тех же условиях (см. соединение Ia схема 1 и табл. 2), что прямо указывает на идентичность гетероциклических остовов ионов, формирующихся в условиях реакции в обоих случаях. При этом точно такая же корреляция в спектрах ЯМР <sup>1</sup>H наблюдается и в случае шестизвенных циклических ионов, образующихся как из 2-циклопропилбензойных кислот, так и из 2-нитрофенилциклопропанов (см. табл. 2).

Что касается механизма изомерного превращения циклических ионов VIa—в и Xa—в друг в друга, то, по всей вероятности, оно осуществляется через стадии депротонирования соответствующих открытых форм ионов Va—в и IXa—в (см. схему 2) и протонирования общего для каждой пары циклических ионов интермедиата — соответствующей 2-циклопропенилбензойной кислоты VIIa—в. Предлагаемая схема изомеризации (идущая не через гидридный сдвиг в ионах открытой структуры) согласуется с результатами специального изучения изомерных переходов циклических ионов, формирующихся из 2-нитрофенилциклопропанов под действием D<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [13].

Далее удалось установить, что выделенные в индивидуальном виде 3-этилфталиды VIIa—в и 3-метил-3,4-дигидроизокумарины XIa—в, каждый в отдельности растворенные во фторсульфоновой кислоте (или в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), протонируются по эфирному атому кислорода, превращаясь в ионы точно

Параметры ИК и ЯМР  $^1\text{H}$  спектров полученных соединений

Соединение	Химические сдвиги, $\delta$ , м. д.					$\nu$ , $\text{cm}^{-1}$
	7-Н	8-Н	$\text{CH}_3$	$\text{C}_2\text{H}_5$	ароматические протоны	
VIa	6,36 д. д (1H)	2,26 м (2H)	1,11 т (3H)	—	7,60...8,32 м (4H)	—
VIб	6,35 д. д (1H)	2,17 м (2H)	1,06 т (3H)	—	7,66 (1H, д, 3-Н); 8,28 (1H, д. д, $J_{43} = 8$ Гц, 4-Н); 8,37 (1H, д, $J_{65} = 1,5$ Гц, 6-Н)	—
VIв	6,28 д. д (1H)	2,12 м (2H)	1,03 т (3H)	1,26 т (3H); 2,75 к (2H)	7,32...8,07 м (3H)	—
Ia*	6,82 д. д (1H)	2,48 м (2H)	1,27 т (3H)	—	8,08 (1H, т, $J_{45} = 8,0$ Гц, $J_{43} = 8,5$ Гц, 4-Н); 8,10 (1H, д, $J_{65} = 8,0$ Гц, 6-Н); 8,40 (1H, д, $J_{34} = 8,5$ Гц, 3-Н); 8,47 (1H, т, $J_{54} = J_{56} = 8,0$ Гц)	—
VIIa	5,50 д. д (1H)	1,93 м (2H)	0,93 т (3H)	—	7,43...7,88 м (4H)	1760 (C=O)
VIIб	5,30 д. д (1H)	1,92 м (2H)	0,96 т (3H)	—	7,28 (1H, д, $J_{34} = 9$ Гц, 3-Н); 7,69 (1H, д. д, $J_{43} = 9$ Гц, $J_{46} = 2$ Гц, 4-Н); 7,90 (1H, д, $J_{64} = 2$ Гц, 6-Н)	1780 (C=O)
VIIв	5,29 д. д (1H)	1,91 м (2H)	0,93 т (3H)	1,22 т (3H); 2,65 к (2H)	7,08...7,66 м (3H)	1780 (C=O)
Xa	3,38 д (2H)	5,50 м (1H)	1,76 д (3H)	—	7,60...8,32 м (4H)	—
Xб	3,24 д (2H)	5,48 м (1H)	1,70 д (3H)	—	7,42 (1H, д, $J_{64} = 2$ Гц, 6-Н); 8,09 (1H, д. д, $J_{43} = 8$ Гц, $J_{46} = 2$ Гц, 4-Н); 8,36 (1H, д, $J_{34} = 8$ Гц, 3-Н)	—
Па'* <sup>2</sup>	3,68 м (2H)	6,06 м (1H)	1,93 д (3H)	—	7,73 (1H, д, $J_{34} = 8,5$ Гц, 3-Н); 7,79 (1H, т, $J_{43} = 8,5$ Гц, $J_{45} = 8$ Гц, 4-Н); 8,23 (1H, т, $J_{54} = 8$ Гц, $J_{56} = 8$ Гц, 5-Н); 8,28 (1H, д, $J_{65} = 8$ Гц, 6-Н)	—
XIa	2,83 д (2H)	4,52 м (1H)	1,45 д (3H)	—	7,01...8,08 м (4H)	1730 (C=O)
XIб	2,95 д (2H)	4,72 м (1H)	1,54 д (3H)	—	7,23 (1H, д, $J_{65} = 8$ Гц, 6-Н); 7,75 (1H, д. д, $J_{56} = 8$ Гц, $J_{53} = 2,5$ Гц, 5-Н); 8,33 (1H, д, $J_{35} = 2,5$ Гц, 3-Н)	1725 (C=O)
XIв	2,82 д (2H)	4,65 м (1H)	1,47 д (3H)	1,24 т (3H); 2,68 к (2H)	6,80...7,86 м (3H)	1725 (C=O)

\*<sup>2</sup> Данные работы [12].  
Ион Па' изомерен иону Ia и имеет структуру, аналогичную структуре иона Па (см. схему 1); химические сдвиги для иона Па' приведены из [12].

такого же строения, что и соответствующие ионы, формирующиеся в указанных кислотах непосредственно из 2-циклопропилзамещенных бензойных кислот IVa—в. На это указывает идентичность спектров ЯМР  $^1\text{H}$  растворов ионов, полученных растворением во фторсульфоновою кислоте в одном случае субстратов IVa—в, в другом — нейтральных продуктов перегруппировки последних (соединений VIIa—в и XIa—в). При этом, как и в случае циклических ионов, образующихся непосредственно из 2-циклопропилбензойных кислот IVa—в, индивидуальные ионы, полученные протонированием 3-этилфталидов VIIa—в или 3-метил-3,4-дигидроизокумаринов XIa—в, также претерпевают изомерные превращения и в результате за необходимый промежуток времени (~2 месяца) в каждом случае устанавливается термодинамическое равновесие с точно таким же соотношением концентраций пяти- и шестизвенных циклических ионов, которое характерно для равновесного состояния аналогичных ионов, образующихся непосредственно из кислот IVa—в (см. табл. 1).

Таким образом, найденная кислотнo-катализируемая перегруппировка 2-циклопропилбензойных кислот и закономерности изомерных превращений циклических ионов, формирующихся на пути ее протекания, открывают широкие возможности синтеза труднодоступных функционально замещенных фталидов и 3-метил-3,4-дигидроизокумаринов.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  регистрировали на приборах Tesla-BS 467 с рабочей частотой 60 МГц, Varian-XL 100 и Bruker-AM 250, внутренний стандарт ТМС или  $\text{CHCl}_3$  для растворов фторсульфонатов в  $\text{FSO}_3\text{H}$ , растворители  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CDCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FSO}_3\text{H}$ . Спектры ЯМР  $^{13}\text{C}$  получены на приборе Varian-FT 80A, рабочая частота 20 МГц в условиях полной и неполной развязки от протонов, растворители  $\text{CDCl}_3$ ,  $\text{FSO}_3\text{H}$ ,  $\text{D}_2\text{SO}_4$ . ИК спектры снимали в пленке или вазелиновом масле на приборе UR-20. Масс-спектры получены на квадрупольном масс-спектрометре Varian-MAT 44S и на секторном магнитном приборе Varian-MAT-212 с использованием системы прямого ввода образца в ионный источник, энергия электронов 70 эВ. Контроль за чистотой исходных соединений проводили на пластинках Silufol. Препаративное деление смесей выполняли на силикагеле 40/100 мк. Элюент эфир—пентан.

2-Циклопропилбензойные кислоты (IVa—в) синтезировали путем гидролиза соответствующих амидов 2-циклопропилбензойных кислот. Стандартная методика. К 200 мл 25% раствора NaOH и 100 мл метилового спирта порциями добавляют 0,042 моль амида 2-циклопропилбензойной кислоты. Реакционную смесь кипятят при перемешивании 24 ч, охлаждают, подкисляют 200 мл конц. HCl, отфильтровывают выпавшие кристаллы, промывают ледяной водой и перекристаллизовывают из спирта.

По приведенной методике из 6,76 г 2-циклопропилбензамида получают 4,6 г (70%) 2-циклопропилбензойной кислоты (IVa),  $T_{\text{пл}} 105^\circ\text{C}$  [14]; из 10,08 г 5-бром-2-циклопропилбензамида получают 9,2 г (91%) 5-бром-2-циклопропилбензойной кислоты (IVб),  $T_{\text{пл}} 126\text{--}127^\circ\text{C}$ . Спектр ПМР: 0,3...1,16 (4H, м, циклопропан) и 2,45...2,95 (1H, м, циклопропан); 6,84 (1H, д,  $J_{34} = 9$  Гц, 3-H); 7,50 (1H, д, д,  $J_{43} = 9,0$  Гц, 4-H); 8,10 (1H, д,  $J_{64} = 2,0$  Гц, 6-H); 12,5 м. д. (1H, уш. с, COOH). ИК спектр: 1700 (C=O), 2400...2800  $\text{cm}^{-1}$  (OH). Найдено, %: C 49,50; H 3,65; Br 33,0.  $\text{C}_{10}\text{H}_9\text{BrO}_2$ . Вычислено, %: C 49,82; H 3,76; Br 33,15. Из 7,95 г 2-циклопропил-5-этилбензамида получают 3,83 г (48%) 2-циклопропил-5-этилбензойной кислоты (IVв),  $T_{\text{пл}} 72\text{--}73^\circ\text{C}$ . Спектр ПМР: 0,87...1,5 (7H, м, циклопропан и  $\text{CH}_2\text{CH}_3$ ); 1,72...2,25 (1H, м, циклопропан); 2,70 (2H, к,  $\text{CH}_2\text{CH}_3$ ); 7,13...8,23 (3H, м, ArH); 11,01 м. д. (1H, уш. с, COOH). ИК спектр: 1700 (C=O), 2400...3000  $\text{cm}^{-1}$  (OH). Найдено, %: C 75,83; H 7,43.  $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_2$ . Вычислено, %: C 75,76; H 7,42.

Приготовление растворов ионов VIa—в или их смесей с ионами Xa—в во фторсульфоновою кислоте для регистрации спектров ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  (стандартная методика). К 0,5 мл  $\text{FSO}_3\text{H}$ , охлажденной до  $-30^\circ\text{C}$ , порциями добавляют 0,18 ммоль соответствующей 2-циклопропилбензойной кислоты IVa—в. После растворения субстрата температуру реакционной смеси повышают до комнатной и, поместив раствор в ампулу для съемки спектров, сразу же записывают спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Растворы выдерживают в ампулах 1,5...3 месяца, периодически записывая спектральные характеристики (спектры ЯМР  $^1\text{H}$  ионов VIa—в и Xa—в приведены в табл. 2). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  3-этилфталидия (VIa): 7,63; 25,67; 97,82; 119,94; 122,56; 127,31; 131,10; 140,39; 153,25; 183,19 м. д.; 3-метил-3,4-дигидроизокумариния (Xa): 17,83; 32,00; 88,39; 128,60; 128,82; 131,09; 131,57; 140,73; 141,44; 179,10 м. д.

Перегруппировка 2-циклопропилбензойных кислот (IVа—в) под действием конц. серной кислоты (стандартная методика). К 15 мл конц.  $H_2SO_4$ , охлажденной до  $-20^\circ C$ , добавляют порциями при перемешивании 0,01 моль соответствующей 2-циклопропилбензойной кислоты. Реакционную смесь выдерживают 1 ч при  $-15...-5^\circ C$ , выливают в 100 мл воды со льдом и нейтрализуют раствором соды. Органические соединения экстрагируют эфиром (или хлороформом), промывают водой и сушат  $MgSO_4$ . После упаривания растворителя остаток хроматографируют на силикагеле, элюент эфир—гексан.

По стандартной методике из 3,2 г (0,02 моль) 2-циклопропилбензойной кислоты (IVа) получают 3,05 г (95%) 3-этилфталата (VIIа),  $T_{кип}$  121...122  $^\circ C$  (3 мм рт. ст.),  $n_D^{20}$  1,5718 [15]. Аналогично из 2,41 г (0,01 моль) 5-бром-2-циклопропилбензойной кислоты (IVб) получают 2,24 г (93%) 6-бром-3-этилфталата (VIIб),  $T_{пл}$  49...50  $^\circ C$ . Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{отн}$ , %):  $M^+$  240(11), 183 [M-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>CO] (20). Найдено, %: С 49,63; Н 3,70. C<sub>10</sub>H<sub>9</sub>BrO<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 49,82; Н 3,76. Подобным образом из 1,9 г (0,01 моль) 5-этил-2-циклопропилбензойной кислоты (IVв) получают 1,56 г (82%) 3,6-диэтилфталата (VIIв). Вязкое масло. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{отн}$ , %):  $M^+$  190(29), 161 [M-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>] (100), 133 [M-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>CO] (54). Найдено, %: С 75,63; Н 7,25. C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 75,76; Н 7,42.

Изомеризация циклических ионов VIа—в в ионы XIа—в и выделение нейтральных соединений VIIа—в и XIа—в (стандартная методика). Полученный по описанной выше методике сернокислотный раствор соответствующей 2-циклопропилбензойной кислоты IVа—в выдерживают при 20...22  $^\circ C$  два месяца, при перемешивании выливают его в воду со льдом, продукты реакции экстрагируют и выделяют как указано выше. Из 1,62 г (0,01 моль) соединения IVа получают 0,91 г (56%) 3-этилфталата (VIIа) и 0,66 г (41%) 3-метил-3,4-дигидроизокумарина (XIа),  $T_{пл}$  53  $^\circ C$ . Спектр ЯМР <sup>13</sup>C: 20,91; 34,90; 75,06; 127,31; 127,62; 128,27; 130,26; 133,66; 139,09; 184,95 м. д. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{отн}$ , %):  $M^+$  162 (12), 118 [M-CH<sub>3</sub>CHO] (39).

Аналогичным образом из 1,2 г (0,005 моль) соединения IVб получают 0,48 г (40%) 6-бром-3-этилфталата (VIIб) и 0,59 г (49%) 7-бром-3-метил-3,4-дигидроизокумарина (XIб),  $T_{пл}$  121...122  $^\circ C$ . Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{отн}$ , %):  $M^+$  240, 242 (39), 196, 198 [M-CH<sub>3</sub>CHO] (100), 168, 170 [M-CH<sub>3</sub>CHO-CO] (46).

Подобно описанному выше из 1,9 г (0,01 моль) соединения IVв получают 0,86 г (45%) 3,6-диэтилфталата (VIIв) и 0,53 г (28%) 3-метил-7-этил-3,4-дигидроизокумарина (XIв). Вязкое масло. Найдено, %: С 75,54; Н 7,31. C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 75,76; Н 7,42.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабаров Ю. С., Мочалов С. С., Степанова И. П. // ДАН. — 1969. — Т. 189. — С. 1028.
2. Шабаров Ю. С., Мочалов С. С., Хрящевская О. М. // ЖОрХ. — 1970. — Т. 6. — С. 2434.
3. Шабаров Ю. С., Мочалов С. С. // ЖОрХ. — 1972. — Т. 8. — С. 293.
4. Мочалов С. С., Кутателадзе Т. Г., Федотов А. Н., Шабаров Ю. С. // ДАН. — 1988. — Т. 298. — С. 1398.
5. Федотов А. Н., Трофимова Е. В., Мочалов С. С., Шабаров Ю. С. // ЖОрХ. — 1988. — Т. 24. — С. 1413.
6. Федотов А. Н., Трофимова Е. В., Мочалов С. С., Шабаров Ю. С. // ЖОрХ. — 1988. — Т. 24. — С. 2403.
7. Мочалов С. С., Федотов А. Н., Плоткин В. Ю., Шабаров Ю. С. // ЖОрХ. — 1980. — Т. 16. — С. 612.
8. Федотов А. Н., Шишкина И. Н., Кутателадзе Т. Г., Мочалов С. С., Шабаров Ю. С. // ХГС. — 1987. — № 8. — С. 1063.
9. Мочалов С. С., Кутателадзе Т. Г., Шабаров Ю. С. // ДАН. — 1988. — Т. 301. — С. 1393.
10. Мочалов С. С., Кутателадзе Т. Г., Федотов А. Н., Шабаров Ю. С. // ЖОрХ. — 1989. — Т. 25. — С. 1396.
11. Федотов А. Н., Трофимова Е. В., Мочалов С. С., Шабаров Ю. С. // ЖОрХ. — 1991. — Т. 27. — С. 1193.
12. Кутателадзе Т. Г., Мочалов С. С., Борисенко А. А., Федотов А. Н., Шабаров Ю. С. // ЖОрХ. — 1989. — Т. 25. — С. 1384.
13. Трофимова Е. В. Дис. ... канд. хим. наук. — М., 1990.
14. Шабаров Ю. С., Потапов В. К., Левина Р. Я. // ЖОХ. — 1964. — Т. 34. — С. 2832.
15. Renson M. A. // Bull. Soc. chim. belg. — 1961. — Vol. 70. — P. 77.