

С. В. Толкунов, А. И. Хижан, С. И. Симонова,
Н. С. Семенов, С. Н. Лящук

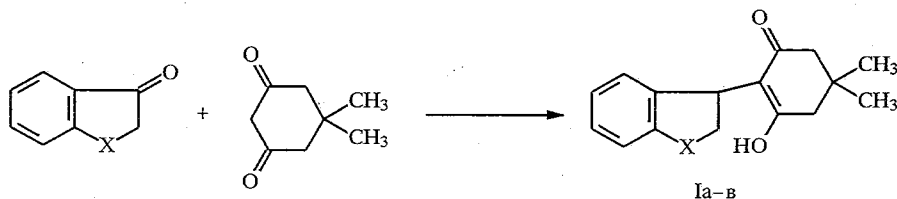
КОНДЕНСИРОВАННЫЕ ПИРИДИНОВЫЕ ОСНОВАНИЯ

СИНТЕЗ НЕКОТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗО[*b*]ФУРО[2,3-*c*]-, БЕНЗО[*b*]ТИЕНО[2,3-*c*]- И БЕНЗО[*b*]СЕЛЕНОФЕНО[2,3-*c*]ХИНОЛИНОВ

Конденсацией бензо[*b*]фуран-3[2Н]-она, бензо[*b*]тиофен-3[2Н]-она и бензо[*b*]селенофен-3[2Н]-она с димедоном получены 2-(гетерил-3)димедоны. Ацилирование последних приводит к соответствующим тетрациклическим солям пирилия, из которых получены конденсированные хинолины. Некоторые производные конденсированных хинолинов получены реакцией 1-оксо-1,2,3,4-тетрагидрогетерен[2,3-*c*]хинолинов с боргидридом натрия, гидразином, гидроксилламинном.

Фармакологическое исследование многочисленных производных β -карболинов, синтезированных в нашей лаборатории, выявило наиболее активное из них — гидрохлорид 1-оксо-3,3,6-триметил-1,2,3,4-тетрагидроиндоло[2,3-*c*]хинолин [1—3]. Широкий фармакологический спектр действия этого препарата (транквилизатор, ноотроп, противошоковое средство) и высокая активность побудили нас к синтезу его изостеров — кислородного, сернистого и селенового аналогов. Ранее изомерные бензофуорохинолины исследовались в качестве мутагенов и противоопухолевых средств [4, 5].

Удобными интермедиатами для синтеза указанных аналогов являются соли пирилия. Для получения последних использована реакция кислотно-катализируемой гетероциклизации, в которую мы ввели 2-(3-бензо[*b*]фурил)-, 2-(3-бензо[*b*]тиенил)- и 2-(3-бензо[*b*]селенил)димедон (Ia—в соответственно). Нами показана возможность получения соединений Ia—в путем конденсации бензо[*b*]фуран-3[2Н]-она, бензо[*b*]тиофен-3[2Н]-она и бензо[*b*]селенофен-3[2Н]-она с димедоном. Реакция легко протекает при нагревании смеси реагентов в уксусной кислоте в присутствии триэтиламина (ср. [6]). По данным ИК спектров, продукты Ia—в находятся в енольной форме.

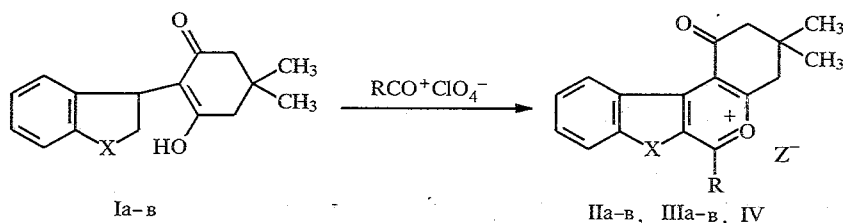


I а X = O, б X = S, в X = Se

Ацилированием соединений Ia и Ib ангидридами алифатических кислот в присутствии 70% хлорной кислоты с высокими выходами получены перхлораты 1-оксо-3,3-диметил-6-R-1,2,3,4-тетрагидробензо[*b*]фуоро[2,3-*c*]пирилия (IIa—в) и -бензо[*b*]тиено[2,3-*c*]пирилия (IIIa—в). В этих условиях 2-(3-бензо[*b*]селенил)димедон Ib претерпевает деструкцию с выделением H_2Se (деструкция Ib часто протекает со взрывом). Ацилирование замещенного димедона Ib успешно проходит в присутствии эфирата BF_3 и

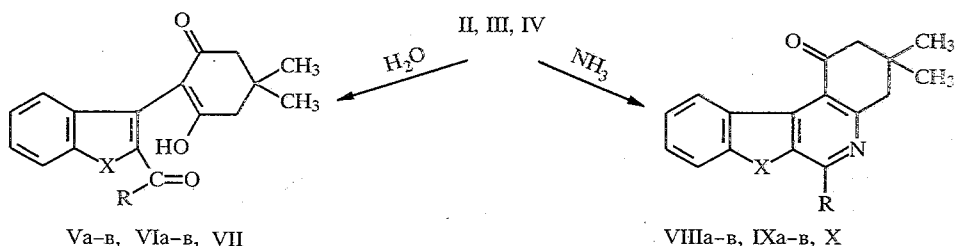
приводит к соли IV, которая в чистом виде не выделялась, а превращалась в соответствующий хинолин действием спиртового аммиака.

В ИК спектрах солей II, III имеются полосы поглощения карбонильной группы в области 1710 и аниона ClO_4^- при 1100 см^{-1} .



II X = O, III X = S, IV X = Se; II, III Z = ClO_4^- , а R = CH₃, б R = C₂H₅,
в R = C₃H₇, Z = BF_4^-

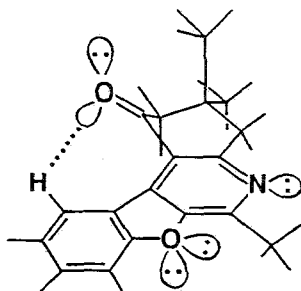
Полосы поглощения связей C=C катиона пирилия в солях II наблюдаются при 1645, тогда как в солях III — при 1590 см^{-1} . В отличие от трициклических солей бензо[b]тиено[2,3-с]- и бензо[b]фуоро[2,3-с]пирилия [7, 8] перхлораты II, III и тетрафторборат IV в водно-спиртовых растворах превращаются в трикарбонильные соединения Va—в, VIa—в и VII соответственно.



V, VIII X = O, а R = CH₃, б R = C₂H₅, в R = C₃H₇; VI, IX X = S, а R = CH₃, б R = C₂H₅,
в R = C₃H₇; VII, X X = Se, R = CH₃

ИК спектры соединений V—VII содержат группу полос поглощения связей C=C и C=O енольной формы в области $1615\text{--}1650 \text{ см}^{-1}$. Группа RCO в соединениях V наблюдается в области 1685, а в соединениях VI и VII — при 1665 см^{-1} .

Целевые 1-оксо-3,3-диметил-6-R-1,2,3,4-тетрагидробензо[b]фуоро-, бензо[b]тиено- и -бензо[b]селенил[2,3-с]хинолины (VIII—X) синтезированы обработкой солей II—IV или трикарбонильных соединений V—VII спиртовым раствором аммиака. Следует отметить, что, как и в случае катиона пирилия, для хинолинов VIII—X характерен необычно сильный слабopольный сдвиг сигнала ароматического протона 11-H в спектре ПМР (см. табл. 2 и 3). Для выяснения возможных причин этого явления нами проведено теоретическое изучение структуры и энергий внутримолекулярных взаимодействий соединений VIII—X методами молекулярной механики (силовое поле MMX 88) и СПП МО ЛКАО (см. табл. 3). Наиболее энергетически выгодная конформация для X=O представлена на рисунке. При переходе от O к S расстояние между карбонильным кислородом и протоном 11-H заметно уменьшается, при этом энергия их ван-дер-ваальсового отталкивания ($E_{\text{вдв}}$) возрастает примерно в 1,5 раза, а кулоновское притяжение (E_q) немного усиливается. Величина энергии последнего указывает на существование слабой водородной связи. Однако вполне очевидно, что такая водородная связь не может приводить к столь сильному



Наиболее энергетически выгодная конформация
1-оксо-3,3,6-триметил-1,2,3,4-тетрагидробензо [b] фуру [2,3-с] хинолина
по результатам молекулярно-механических расчетов

слабопольному сдвигу сигнала протона 11-Н (более чем на 2 м. д.). Наиболее вероятная причина наблюдаемого эффекта — кооперативное влияние кулоновских и ван-дер-ваальсовых взаимодействий при доминирующем вкладе последних. Одной из особенностей строения хинолинов VIII—X является вывод карбонильной группы из плоскости ароматической системы. В такой конформации одна неподделенная пара кислорода участвует в образовании слабой водородной связи с протоном 11-Н, а другая остается свободной и может образовывать водородный мостик с протонодонорами (спирты, кислоты и т. д.).

Из особенностей строения вытекает низкая реакционная способность хинолинов VIII—X. Так, их гидридное восстановление с образованием соответствующих карбинолов XIa—в протекает сравнительно медленно, а реакция с десятикратным избытком гидразингидрата проходит удовлетворительно только при длительном (15 ч) нагревании реагентов и приводит к гидразонам XIIa—в. Последние нагреванием с КОН в этиленгликоле превращают в соединения XIIIa—в. Природа растворителя оказывает существенное влияние на скорость взаимодействия хинолинов VIII—X с гидразингидратом. В метаноле реакция протекает значительно быстрее, чем

Таблица 1

Характеристика соединений I—XIV

Соединение	Брутто-формула	$T_{пл}, ^\circ C$ ($T_{разл}, ^\circ C$)	Выход, %	Соединение	Брутто-формула	$T_{пл}, ^\circ C$	Выход, %
Ia	C ₁₆ H ₁₆ O ₃	158...159	64	VIIIб	C ₁₉ H ₁₉ NO ₂	117...118	89
Iб	C ₁₆ H ₁₆ O ₂ S	206...207	68	VIIIв	C ₂₁ H ₂₁ NO ₂	89...90	90
Iв	C ₁₆ H ₁₆ O ₂ Se	197...198	62	IXa	C ₁₈ H ₁₇ NOS	106...107	91
IIa	C ₁₈ H ₁₇ ClO ₇	(240)	81	IXб	C ₁₉ H ₁₉ NOS	124...125	92
IIб	C ₁₉ H ₁₉ ClO ₇	(217)	81	IXв	C ₂₀ H ₂₁ NOS	99...100	90
IIв	C ₂₀ H ₂₁ ClO ₇	(167)	84	X	C ₁₈ H ₁₇ NOSe	97...98	87
IIIa	C ₁₈ H ₁₇ ClO ₆ S	(242)	80	XIa	C ₁₈ H ₁₈ NO ₂	121...122	84
IIIб	C ₁₉ H ₁₉ ClO ₆ S	(210)	81	XIб	C ₁₈ H ₁₈ NOS	166...167	84
IIIв	C ₂₀ H ₂₁ ClO ₆ S	(160)	83	XIв	C ₁₈ H ₁₈ NOSe	161...162	84
IV	C ₁₈ H ₁₇ BF ₄ O ₂ Se	—	—	XIIa	C ₁₈ H ₁₉ N ₃ O	151...153	82
Va	C ₁₈ H ₁₈ O ₄	(190)	91	XIIб	C ₁₈ H ₁₉ N ₃ S	155...156	79
Vб	C ₁₉ H ₂₀ O ₄	(102)	90	XIIв	C ₁₈ H ₁₈ NOSe	164...165	79
Vв	C ₂₀ H ₂₂ O ₄	(98)	93	XIIIa	C ₁₈ H ₁₉ NO	103...104	87
VIa	C ₁₈ H ₁₈ O ₃ S	(178)	90	XIIIб	C ₁₈ H ₁₉ NS	131...132	72
VIб	C ₁₉ H ₂₀ O ₃ S	(164)	93	XIIIв	C ₁₈ H ₁₉ NSe	132...133	54
VIв	C ₂₀ H ₂₂ O ₃ S	(152)	92	XIVa	C ₁₈ H ₁₈ N ₂ O ₂	277...278	65
VII	C ₁₈ H ₁₈ O ₃ Se	(144)	90	XIVб	C ₁₈ H ₁₈ N ₂ OS	217...218	76
VIIIa	C ₁₈ H ₁₇ NO ₂	144...145	91	XIVв	C ₁₈ H ₁₈ N ₂ OSe	215...216	77

Таблица 2

Спектральные характеристики соединений II, III, VIII—XIV

Соединение	Спектр ПМР, δ , м. д., КССВ (J), Гц
IIa	1,37 (6H, с, 3-CH ₃); 3,10 (2H, с, 2-CH ₂); 3,37 (3H, с, 6-CH ₃); 3,60 (2H, с, 4-CH ₂); 7,63...8,20 (3H, м, 8-, 9-, 10-H); 9,33 (1H, д, $J = 8$, 11-H)
IIб	1,33 (6H, с, 3-CH ₃); 1,66 (3H, т, 6-CH ₃); 3,00 (2H, с, 2-CH ₂); 3,53 (2H, с, 4-CH ₂); 3,67 (2H, к, 6-CH ₂); 7,60...8,20 (3H, м, 8-, 9-, 10-H); 9,33 (1H, д, $J = 8$, 11-H)
IIIa	1,26 (6H, с, 3-CH ₃); 3,00 (2H, с, 2-CH ₂); 3,26 (3H, с, 6-CH ₃); 3,46 (2H, с, 4-CH ₂); 7,67...8,07 (3H, м, 8-, 9-, 10-H); 9,27 (1H, д, $J = 8$, 11-H)
IIIб	1,26 (6H, с, 3-CH ₃); 1,60 (3H, т, 6-CH ₃); 3,00 (2H, с, 2-CH ₂); 3,46 (2H, с, 4-CH ₂); 3,60 (2H, к, 6-CH ₂); 7,60...8,00 (3H, м, 8-, 9-, 10-H); 9,27 (1H, д, $J = 8$, 11-H)
VIIIa	1,14 (6H, с, 3-CH ₃); 2,71 (2H, с, 2-CH ₂); 2,86 (3H, с, 6-CH ₃); 3,28 (2H, с, 4-CH ₂); 7,47 (1H, т, 10-H); 7,68 (1H, т, 9-H); 7,75 (1H, д, $J = 8$, 8-H); 9,57 (1H, д, $J = 8$, 11-H)
IXa	1,08 (6H, с, 3-CH ₃); 2,78 (3H, с, 6-CH ₃); 2,80 (2H, с, 2-CH ₂); 3,27 (2H, с, 4-CH ₂); 7,52 (1H, т, 10-H); 7,61 (1H, т, 9-H); 8,04 (1H, д, $J = 8$, 8-H); 9,56 (1H, д, $J = 8,2$, 11-H)
X	1,08 (6H, с, 3-CH ₃); 2,66 (3H, с, 6-CH ₃); 2,80 (2H, с, 2-CH ₂); 3,25 (2H, с, 4-CH ₂); 7,43 (2H, т, 10-, 9-H); 8,05 (1H, д, $J = 8$, 8-H); 9,18 (1H, д, $J = 8,2$, 11-H)
XIб	1,13 (3H, с, 3-CH ₃); 1,35 (3H, с, 3-CH ₃); 2,28 (2H, м, 2-CH ₂); 2,75 (3H, с, 6-CH ₃); 3,00 (1H, д, $J = 15$, 4-CH); 3,23 (1H, д, $J = 15$, 4-CH); 5,87 (1H, м, 1-CH); 6,74 (1H, д, $J = 6$, 1-OH); 7,52 (2H, м, 9-, 10-H); 8,04 (1H, д, $J = 8$, 8-H); 9,26 (1H, д, $J = 8,5$, 11-H)
XIв	1,13 (3H, с, 3-CH ₃); 1,35 (3H, с, 3-CH ₃); 2,28 (2H, м, 2-CH ₂); 2,75 (3H, с, 6-CH ₃); 3,00 (1H, д, $J = 15$, 2-CH); 3,23 (1H, д, $J = 15$, 2-CH); 5,87 (1H, м, 1-CH); 6,74 (1H, д, $J = 6$, 1-OH); 7,50 (2H, м, 9-, 10-H); 8,13 (1H, д, $J = 8$, 8-H); 9,27 (1H, д, $J = 8$, 11-H)
XIIб	1,05 (6H, с, 3-CH ₃); 2,70 (2H, с, 2-CH ₂); 2,77 (3H, с, 6-CH ₃); 3,02 (2H, с, 4-CH ₂); 7,22 (2H, с, NH ₂); 7,41 (1H, т, 10-H); 7,52 (1H, т, 9-H); 7,98 (1H, д, $J = 7,4$, 8-H); 9,48 (1H, д, $J = 8,8$, 11-H)
XIIIб	1,03 (6H, с, 3-CH ₃); 1,68 (2H, т, $J = 6,6$, 2-CH ₂); 2,78 (3H, с, 6-CH ₃); 3,00 (2H, с, 4-CH ₂); 3,24 (2H, т, $J = 6,6$, 1-CH ₂); 7,58 (2H, м, 9-, 10-H); 8,06 (1H, д, $J = 9$, 8-H); 8,39 (1H, д, $J = 10$, 11-H)
XIVв	1,10 (6H, с, 3-CH ₃); 2,74 (3H, с, 6-CH ₃); 3,05 (2H, с, 2-CH ₂); 3,16 (2H, с, 4-CH ₂); 3,63 (1H, с, N-OH); 7,20 (2H, м, 9-, 10-H); 8,14 (1H, д, $J = 8,2$, 8-H); 9,50 (1H, д, $J = 8,2$, 11-H)

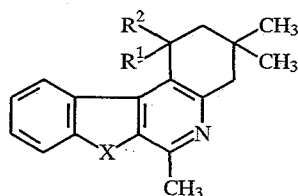
в изопропанолe, в то время как в диоксане она практически не идет. Наблюдаемое различие, очевидно, обусловлено общим кислотным катализом протонсодержащими растворителями нуклеофильных реакций карбонильной группы [9]. Так, в апротонном растворителе типа диоксана, где электрофильная сольватация карбонильного кислорода невозможна, реакция не идет. В то же время добавка в реакционную среду небольшого количества уксусной кислоты вызывает сильное ускорение процесса (реакция заканчивается за 2...3 ч). Аналогичные закономерности наблюдаются при взаимодействии соединений VIII—X с гидроксиламином. Применение традиционных методов получения оксимов [10] требует длительного

Таблица 3

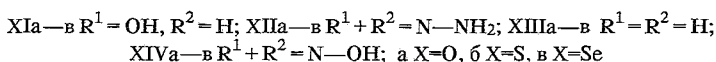
Результаты теоретических расчетов хинолинов VIII—X

Гетеро- атом X	Ван-дер-ваальсо- вый радиус X, Å	Химиче- ский сдвиг 11-Н, м. д.	Расстояние 11-Н...О=C, Å	E_q , ккал/моль	$E_{вдв}$, ккал/моль	E , ккал/моль
O	1,40	9,54	2,397	-0,846	0,543	-0,303
N	1,50	9,88	2,374	-0,869	0,620	-0,249
S	1,85	9,58	2,3404	-0,863	0,751	-0,112
Se	2,00	9,15	—	—	—	—

кипячения исходных реагентов. В нашем случае хорошие результаты дает кипячение гидрохлоридов VIII—X с гидрохлоридом гидроксимирина в спирте, а также «летаргическое» оксимирование [11], приводящие к оксиам XIVa—в. Характеристики соединений I—XIV приведены в табл. 1.



XIa—в - XIVa—в



Фармакологические исследования синтезированных хинолинов VIII—X и продуктов их превращений XI—XIV проводились на кафедре фармакологии Донецкого медицинского института. Показано, что бензотиенохинолины обладают высокой анксиолитической активностью (метод конфликтной ситуации). Сравнение анксиолитической активности соединений IXa и XIIIб выявило роль оксогруппы в положении 1. Соединения, в которых она отсутствует, не обнаруживают антиконфликтного действия в дозах до 10 мг/кг.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры сняты на приборе UR-20 в вазелиновом масле, спектры ПМР — на приборе Tesla BS-467 (60 МГц) и Gemini-200 (200 МГц), растворитель для солей пирилия CF_3COOH , для пиридиновых оснований C_5D_5N , внутренний стандарт ТМС. Теоретические расчеты методами молекулярной механики и ССП МО ЛКАО проводили на IBM PC/AT 286/287 по программе PCMODEL, версия 3.2 (Serena Software).

Данные элементного анализа синтезированных соединений на C, H, N, Cl, S соответствуют расчетным.

2-(Гетерил-3)димедоны (Ia—в). Смесь 0,1 моль соответствующего бензо[b]гетерен-3(2H)-она, 0,1 моль димедона, 0,1 моль триэтиламина и 200 мл уксусной кислоты кипятят 8 ч. Уксусную кислоту удаляют в вакууме. Остаток растворяют в 5% растворе $NaHCO_3$. Полученный раствор фильтруют и подкисляют. Выпавший осадок отфильтровывают и перекристаллизовывают из изопропилового спирта.

Перхлораты 1-оксо-3,3-диметил-6-R-1,2,3,4-тетрагидробензо[b]фуоро- и -тиено[2,3-с]-пирилия (IIa—в, IIIa—в). К раствору 0,01 моль соединения Ia или Ib в 15 мл соответствующего ангидрида карбоновой кислоты при комнатной температуре и перемешивании добавляют 1 мл 70% хлорной кислоты. Смесь перемешивают 1 ч при 35...40 °C и 2 ч при комнатной температуре. Далее охлаждают, добавляют 40 мл сухого эфира, осадок отфильтровывают, промывают сухим эфиром, высушивают и перекристаллизовывают из ледяной уксусной кислоты.

Борфторид 1-оксо-3,3,6-триметил-1,2,3,4-тетрагидробензо[b]селенофено[2,3-с]пирилия (IV). Получают аналогично соединениям II, III, используя эфират трехфтористого бора (3 мл). Смесь выдерживают сутки при комнатной температуре. Соль осаждают добавлением 100 мл эфира и используют без очистки.

2-(2-Ацилбензо[b]фурил-3)-, 2-(2-ацилбензо[b]тиенил-3)- и 2-(2-ацетилбензо[b]селенил-3)димедоны (Va—в, VIa—в, VII). Растворяют 0,01 моль соответствующей соли Ia—в, IIIa—в или IV в 50 мл спирта, добавляют 5 мл воды и нагревают до кипения. После охлаждения добавляют 10 мл воды, выпавший осадок отфильтровывают и кристаллизуют из водного спирта.

1-Оксо-3,3-диметил-6-R-1,2,3,4-тетрагидробензо[b]фуоро-, -(тиено или селенофено)[2,3-с]хинолины (VIIIa—в, IXa—в, X). В раствор 0,01 моль соли Pa—в, IIIa—в или IV в 50 мл спирта в течение 20 мин пропускают газообразный аммиак, охлаждают и разбавляют 100 мл воды. Выпавший осадок отфильтровывают и кристаллизуют из водного спирта. Хинолины VIII—X могут быть получены аналогичным способом также из трикарбонильных соединений V—VII.

1-Окси-3,3,6-триметил-1,2,3,4-тетрагидробензо[*b*]фуоро-, -(тиено или селенофено) [2,3-*c*]хинолины (XIa—в). А. К суспензии 0,01 моль LiAlH_4 в 200 мл сухого эфира добавляют порциями 0,01 моль хинолина VIIa, IXa или X. Смесь кипятят 4 ч, охлаждают, обрабатывают последовательно спиртом, водой и уксусной кислотой. Эфирный слой отделяют, промывают водой и сушат над Na_2SO_4 . Остаток после удаления эфира кристаллизуют из толуола.

Б. К раствору 0,01 моль VIIa, IXa или X в 60 мл метанола небольшими порциями добавляют 0,048 моль NaNH_4 . Раствор оставляют на сутки при комнатной температуре. Далее метанол удаляют, к остатку добавляют воду и осадок продукта отфильтровывают.

Гидразоны 1-оксо-3,3,6-триметил-1,2,3,4-тетрагидробензо[*b*]фуоро-, -(тиено или селенофено) [2,3-*c*]хинолинов (XIa—в). Смесь 0,01 моль соответствующего хинолина VIIa, IXa или X, 10 мл 65% гидразингидрата, 100 мл спирта и 1 мл уксусной кислоты кипятят 3 ч. Отгоняют 50 мл спирта, остаток выливают в воду, выпавший осадок отфильтровывают и кристаллизуют из водного спирта.

3,3,6-Триметил-1,2,3,4-тетрагидробензо[*b*]фуоро-, -(тиено или селенофено) [2,3-*c*]хинолины (XIa—в). Смесь 0,01 моль XIa—в, 100 мл этиленгликоля, 5 г КОН выдерживают 4 ч при 180 °С. После охлаждения добавляют 200 мл воды, осадок отфильтровывают и кристаллизуют из водного спирта.

Оксимы 1-оксо-3,3,6-триметил-1,2,3,4-тетрагидробензо[*b*]фуоро-, -(тиено или селенофено) [2,3-*c*]хинолинов (XIa—в). А. К *трет*-амилату калия, полученному из 2 г калия и 50 мл *трет*-амилового спирта, добавляют 2 г (0,03 моль) солянокислого гидроксилamina и раствор 0,01 моль VIIa, IXa или X в 30 мл тетрагидрофурана. Полученную смесь перемешивают 40 ч при комнатной температуре, далее выливают в 200 мл воды и нейтрализуют 3 мл уксусной кислоты. Выпавший осадок отфильтровывают и кристаллизуют из метанола.

Б. Смесь 0,01 моль гидрохлорида VIIa, IXa или X и 1,38 г (0,02 моль) гидрохлорида гидроксилamina в 100 мл спирта кипятят 6 ч. Спирт упаривают до объема 50 мл, охлаждают, выпавший осадок отфильтровывают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуленко В. И., Лукьяненко В. И., Кибальный А. В., Малшенко А. А., Николюкин Ю. А. // ХГС. — 1985. — № 3. — С. 363.
2. Комиссаров И. В., Дуленко В. И., Долженко А. Т., Зиньковская Л. Я., Николюкин Ю. А., Нишарадзе М. З., Образцова О. Г., Кибальный А. В., Лукьяненко В. И. // Хим.-фарм. журн. — 1985. — № 3. — С. 172.
3. Дуленко В. И., Комиссаров И. В., Долженко А. Т., Николюкин Ю. А. β -Карболины. Химия и нейробиология. — Киев: Наук. думка, 1992. — С. 152.
4. Yamaguchi S., Tsuzuki K., Sannomiya Y., Oh-hira Y., Kawase Y. // J. Heterocycl. Chem. — 1989. — Vol. 26, N 2. — P. 285.
5. Yamaguchi S., Tsuzuki K., Kinoshita M., Oh-hira Y., Kawase Y. // J. Heterocycl. Chem. — 1989. — Vol. 26, N 2. — P. 281.
6. Вележева В. С., Севодин В. П., Ерофеев Ю. В., Генкина Н. Н., Козик Т. А., Вампилова В. В., Суворов Н. Н. // ХГС. — 1977. — № 3. — С. 360.
7. Дуленко В. И., Толкунов С. В., Алексеев Н. Н. // ХГС. — 1981. — № 10. — С. 1351.
8. Дуленко В. И., Толкунов С. В. // ХГС. — 1987. — № 7. — С. 889.
9. Литвиненко Л. М., Олейник Н. М. Органические катализаторы и гомогенный катализ. — Киев: Наук. думка, 1981. — С. 260.
10. Вейганд-Хильгетаг. Методы эксперимента в органической химии. — М.: Химия, 1969. — С. 479.
11. Физер Л., Физер М. Реагенты для органического синтеза. — М.: Мир, 1970. — Т. 2. — С. 264.