

**М. Ф. Будыка, Н. В. Биктимирова, Т. Н. Гавришова**

### **СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АЗИДОСТИРИЛХИНОЛИНОВ**

Синтезированы изомерные азидостирилхинолины с 4-азидостирильной группой в положении 2 или 4 хинолинового ядра. В нейтральной форме азидостирилхинолины поглощают в ближнем УФ, а в протонированной – в коротковолновом видимом диапазоне спектра. В обеих формах азиды являются светочувствительными и разлагаются под действием света с квантовым выходом, близким к 1.

**Ключевые слова:** ароматический азид, стирилхинолин, светочувствительность, спектр поглощения, фотоаффинная метка, фотодиссоциация.

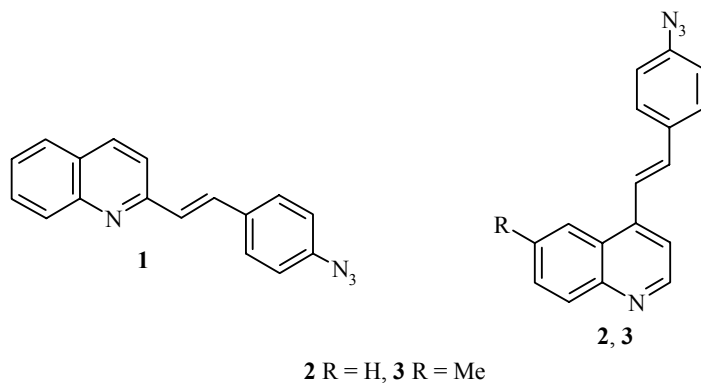
Исследование серии гетероароматических азидов в ряду 4-азидопиридина, 4-азидохинолина, 9-азидоакридина показало, что эти азиды являются фотоактивными, т. е. распадаются с квантовым выходом  $\phi > 0.1$  как в нейтральной, так и в протонированной форме [1–3]. Полосы поглощения исследованных азидов находятся в УФ области спектра и смещаются bathochromно при протонировании эндоциклического атома азота гетероцикла, причем спектры гидрохлорида 9-азидоакридина уже захватывают видимую область.

Последнее свойство представляет практический интерес, например, при использовании азидов в качестве фотоаффинных меток в биохимии, молекулярной биологии [4, 5]. Чтобы при фотоаффинной модификации исследуемая биомолекула не подвергалась фотодеструкции, желательно облучать систему мягким длинноволновым УФ (300–400 нм), а еще лучше видимым светом. Для этого азид должен обладать полосами поглощения в заданной области спектра. 9-Азидоакридин является чувствительным к УФ свету в указанном диапазоне, а его катион – к видимому свету в диапазоне 400–470 нм. Однако катион акридиния в присутствии даже следов воды легко гидролизуетсся с образованием акридона, что затрудняет практическое применение 9-азидоакридина.

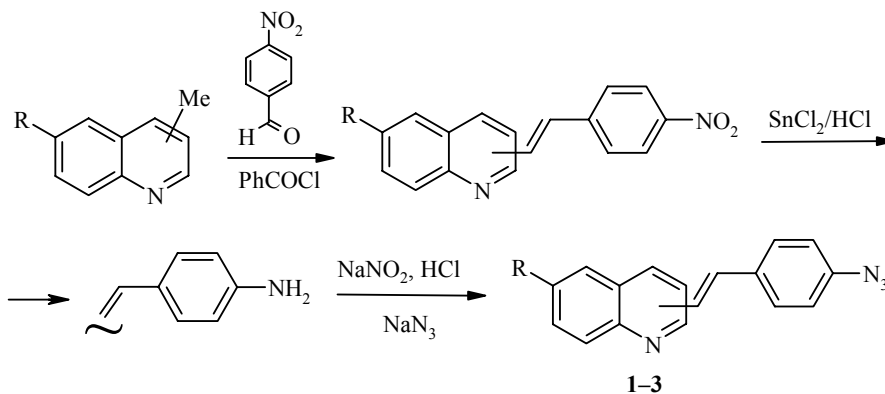
Более устойчивым к гидролизу является 9-(4-азидофенил)акридин, по спектральным свойствам нейтральной и протонированной форм похожий на 9-азидоакридин, но, в отличие от последнего, 9-(4-азидофенил)акридин в катионной форме теряет фотоактивность, квантовый выход его фотодиссоциации падает до значений  $\phi < 0.01$  [6, 7].

Для получения чувствительных к длинноволновому свету азидов представляется перспективным использование подхода, основанного на bathochromном сдвиге спектра поглощения гетероароматического азиды при переходе от нейтральной формы к катионной. При этом нужно, чтобы протонированный (или алкилированный) по гетероциклическому атому азота азид сохранял высокий квантовый выход ( $\phi > 0.1$ ).

На основании теоретического исследования зависимости фотохимической активности гетероароматических азидов от размера гетероароматического ядра в ряду от пиридина до азагексацена было предположено, что для азидов с размером  $\pi$ -системы до 18 электронов следует ожидать высоких ( $\phi > 0.1$ ) квантовых выходов фотодиссоциации как в нейтральной, так и в катионной форме [8]. Стирилхинолины имеют общий размер сопряженной  $\pi$ -системы именно 18 электронов, причем известно, что в протонированной форме спектры поглощения этих соединений сдвигаются в видимую область (например, максимум длинноволновой полосы поглощения 2-стирилхинолина сдвигается от 353 до 380 нм, а для 4-стирилхинолина – от 330 до 383 нм) [9]. В связи с этим представляло интерес исследовать спектральные и фотохимические свойства азидопроизводных стирилхинолинов в нейтральной и катионной форме. С этой целью в настоящей работе синтезированы 2-(4-азидостирил)хинолин (**1**), 4-(4-азидостирил)хинолин (**2**) и его 6-метилпроизводное **3**.



Попытки прямого синтеза указанных соединений конденсацией метилхинолинов с 4-азидобензальдегидом привели к соответствующим аминам, очевидно, в результате термического разложения азидов при температуре, необходимой для реакции конденсации. Поэтому синтез осуществляли в несколько стадий с введением азидогруппы на последней стадии. Вначале конденсацией соответствующего метилхинолина с 4-нитробензальдегидом получали нитростирилхинолин, который двуххлористым оловом восстанавливали до амина. Диазотированием амина с последующей обработкой азидом натрия получен азидостирилхинолин.



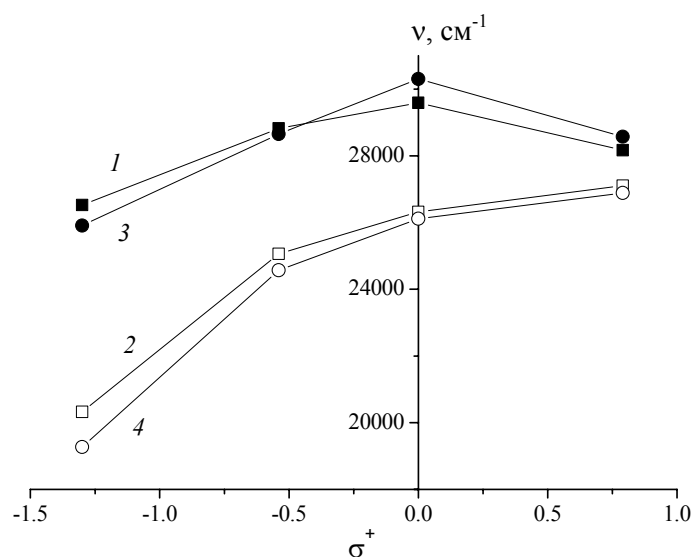
Использованная на первой стадии синтеза методика конденсации дает смесь *цис*- и *транс*-изомеров с преобладанием последнего. На ТСХ смесь *цис*-изомера проявляется в виде небольшого пятна, идущего выше основного *транс*-изомера. Изомеры разделяли кристаллизацией, в дальнейшие превращения вводили *транс*-изомеры нитростирилхинолинов, поэтому в конечных азидах стирильный фрагмент находится в *транс*-конфигурации. Об этом свидетельствуют спектры ЯМР  $^1\text{H}$ , в которых присутствуют дублеты олефиновых протонов стирильного фрагмента в области 7.7 и 7.3 м. д. с константой вицинального взаимодействия 16.5 Гц.

Наличие в ИК спектрах полосы внеплоскостных деформационных колебаний олефиновой группы в области 960–970  $\text{см}^{-1}$  подтверждает *транс*-конфигурацию двойной связи. Кроме того, в ИК спектрах наблюдаются также интенсивные полосы асимметричных валентных колебаний азидогруппы в области 2120 и симметричных колебаний в области 1290  $\text{см}^{-1}$ .

Азиды **1–3** имеют интенсивные полосы поглощения в ближней УФ области 320–390 нм, которые являются суперпозицией полос  $\pi$ - $\pi^*$ - и  $n$ - $\pi^*$ -переходов. Сравнение со спектрами незамещенных стирилхинолинов показывает, что введение азидогруппы приводит к небольшому батохромному сдвигу спектров – для длинноволновой полосы поглощения азида **2** сдвиг составляет 19 нм. Сдвиг длинноволновой полосы поглощения является косвенным свидетельством участия электронов азидогруппы в электронном переходе, обуславливающим длинноволновую полосу поглощения, и наличие такого сдвига можно рассматривать как предпосылку фотодиссоциации азида при облучении в этой полосе. Тем не менее, наличие сдвига не является обязательным условием фотоактивности азида. Этот эффект (сдвиг длинноволновой полосы поглощения) наблюдался для гетероциклических производных азидохалкона [10], но отсутствовал для 9-(4-азидофенил)акридина. Несмотря на такое различие и первые, и последний эффективно разлагались при облучении в области длинноволновой полосы поглощения с квантовым выходом, близким к 1.

При протонировании азидостирилхинолинов наблюдается батохромный сдвиг полос поглощения, особенно заметный для длинноволновой полосы поглощения (например, для азида **2** сдвиг составляет 58 нм). В результате максимум этой полосы гидрохлоридов уже находится в фиолетовой области спектра, а длинноволновый спад полосы простирается до 500 нм, т. е. захватывает существенную часть видимого спектра, что является необходимой предпосылкой светочувствительности азида в этом диапазоне.

Интересно сравнить спектры поглощения азидостирилхинолинов со спектрами соответствующих нитро- и аминостирилхинолинов, поскольку последние являются возможными продуктами фотолиза азидов, и соотношение полос поглощения этих соединений определяет спектральные изменения, наблюдаемые при проведении реакции фотолиза. На рисунке, где показана зависимость положения максимума длинноволновой полосы поглощения производных стирилхинолинов и их гидрохлоридов от резонансных  $\sigma^+$ -констант [11] заместителей в *para*-положении стирильного фрагмента, видно, что для нейтральной формы введение как акцепторных ( $\text{NO}_2$ ), так и донорных ( $\text{N}_3$ ,  $\text{NH}_2$ ) заместителей в молекулу стирилхинолина



Корреляция длинноволновой полосы поглощения с резонансными  $\sigma^+$ -константами заместителей: 1– производные 2-стирилхинолина и 2– их гидрохлориды, 3 – производные 4-стирилхинолина и 4 – их гидрохлориды. Данные для незамещенных стирилхинолинов взяты из работы [9]

приводит к батохромному сдвигу длинноволновой полосы поглощения (кривые 1 и 3), причем оба типа заместителей оказывают равное по силе влияние, о чем свидетельствует практически одинаковый наклон графика в обе стороны от нулевой точки.

В катионной форме акцепторные заместители проявляют слабый гипсохромный эффект, а донорные – довольно сильный батохромный эффект (кривые 2 и 4). Так, в гидрохлориде 4-стирилхинолина введение в *para*-положение стирильного фрагмента нитрогруппы приводит к гипсохромному сдвигу 11 нм, а аминогруппы – на порядок к более сильному батохромному сдвигу 136 нм. Протонированные аминостирилхинолины фактически являются гемецианиновыми красителями [12], их растворы окрашены в малиновый цвет.

Различие во влиянии заместителей на положение длинноволновой полосы поглощения объясняется тем, что в несимметричных диарилэтиленах общей формулы  $A-CH=CH-D$ , к которым относятся исследуемые соединения, эта полоса связана с внутримолекулярным переносом заряда между двумя ароматическими ядрами. В незамещенном стирилхинолине, очевидно, акцептором электронов является хинолиновое ядро, а донором – бензольное, и введение в последнее  $\pi$ -донорных заместителей усиливает внутримолекулярный перенос заряда, что приводит к батохромному сдвигу длинноволновой полосы поглощения. Нитрогруппа является более сильным акцептором, чем хинолиновое ядро, ее введение изменяет направление переноса заряда между двумя арильными заместителями у двойной связи, что также приводит к батохромному сдвигу длинноволновой полосы поглощения.

При протонировании существенно возрастают акцепторные свойства хинолинового ядра, которое остается акцепторной группой, а бензольное ядро – донорной во всех исследованных производных стирилхинолина. Поэтому  $\pi$ -донорные заместители в бензольном ядре усиливают внутримолекулярный перенос заряда, приводя к батохромному сдвигу полосы, а нитрогруппа в донорном фрагменте противодействует переносу заряда, приводя к гипсохромному сдвигу длинноволновой полосы поглощения.

Исследование фотохимических свойств азидостирилхинолинов показало, что они являются фотоактивными как в нейтральной, так и в протонированной форме. Квантовые выходы фотодиссоциации азидов 1–3 при облучении светом с длиной волны 365 нм равны 0.88, 0.91 и 0.96 для нейтральных форм и 0.78, 0.65 и 0.80 для гидрохлоридов соответственно. В отличие от фотолиза простых гетероциклических азидов, при фотолизе азидостирилхинолинов наблюдаются более сложные кинетические закономерности, что, очевидно, связано с наличием в стирильном фрагменте их молекул второй фотоактивной группы – центральной двойной связи, способной к реакции фотоизомеризации. Вследствие этого продукты фотодиссоциации азидогруппы вступают в дальнейшие фотохимические реакции. Подробнее особенности кинетики фотохимических превращений азидостирилхинолинов будут рассмотрены в дальнейших работах.

Таким образом, синтезированные изомерные азидостирилхинолины обладают спектральными свойствами, близкими к свойствам 9-азидоакридина и 9-(4-азидофенил)акридина: нейтральные формы соединений поглощают свет в ближней УФ области, а протонированные – в фиолетово-синей области спектра. Однако в протонированной форме вновь синтезированные азиды, в отличие от 9-азидоакридина, стабильны к гидролизу и, в отличие от 9-(4-азидофенил)акридина, под действием света распадаются с высоким квантовым выходом. По размеру ароматической  $\pi$ -системы (18 электронов) азидостирилхинолины занимают промежуточное положение между 9-азидоакридином (14 электронов) и 9-(4-азидофенил)акридином (20 электронов). Полученные экспериментальные результаты подтверждают сделанные ранее теоретические выводы о фотохимической активности гетероароматических азидов с размером  $\pi$ -системы 18 электронов как в нейтральной, так и в катионной форме.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Электронные спектры поглощения измерены на спектрофотометре Specord M-40, ИК спектры – на спектрометре Spectrum BX-2 с Фурье-преобразованием в таблетке KBr. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  регистрировали на спектрометрах Varian VXR-400 и Bruker DPX 200 (400 и 200 МГц соответственно) в  $\text{CDCl}_3$ ,  $(\text{CD}_3)_2\text{CO}$  и  $\text{DMCO-d}_6$ , внутренний стандарт ТМС. Хромато-масс-спектры получены на приборе HP5890 (ионизация электронным ударом, 70 эВ) с использованием детектора 5989х-G. Электроспрейные (ЭС) масс-спектры получены с помощью оригинального времяпролетного масс-спектрометра с ортогональным вводом ионов [13], с регистрацией положительных ионов, которые представляют собой протонированные молекулы анализируемых соединений. Контроль за ходом реакций и индивидуальностью полученных соединений осуществляли методом ТСХ (ALUGRAM SIL G/UV<sub>254</sub>, ацетон–гексан, проявление в УФ свете или парами иода). Препаративную хроматографию проводили на колонках с силикагелем Silpearl. Растворители очищали по стандартным методикам [14]. Коммерческие ароматические альдегиды и метилхинолины использовали без дополнительной очистки. Гидрохлориды

азидостирилхинолинов получали *in situ* добавлением конц. HCl к раствору азида. В качестве источника УФ света использовали ртутную лампу ДРШ-500, спектральную линию 365 нм выделяли набором фильтров УФС-6 и БС-7. Фотохимические исследования проводили при комнатной температуре в воздушно-насыщенных растворах, концентрация азида  $(2-20) \times 10^{-5}$  моль/л, кварцевые кюветы с длиной оптического пути  $l = 1$  см, интенсивность действующего света  $(5-50) \times 10^{-10}$  Эйнштейн $\cdot$ см $^{-2}$  $\cdot$ с $^{-1}$  (измерена полостным приемником ПП-1 или ферриокса-латным актинометром).

**Нитростирилхинолины** (общая методика). К раствору 0.01 моль соответствующего метилхинолина в 22 мл безводного ДМФА добавляют 1.45 г (0.01 моль) хлористого бензоила, перемешивают 20 мин при 20 °С, затем добавляют 0.01 моль 4-нитробензальдегида, кипятят 5 ч. Осадок, выпавший после охлаждения реакционной смеси, отфильтровывают, промывают водой (2  $\times$  5 мл), затем водным ацетоном (2  $\times$  2 мл), перекристаллизовывают из смеси хлороформ–этанол. Спектральные данные и физико-химические константы для нитростирилхинолинов согласуются с приведенными в литературе.

**2-(4-Нитро-*транс*-стирил)хинолин**, выход 65%, желтые кристаллы, т. пл. 163–164 °С (т. пл. 166–168 °С [15]).

**4-(4-Нитро-*транс*-стирил)хинолин**, выход 62%, желтые кристаллы, т. пл. 220–222 °С (т. пл. 224 °С [16]).

**4-(4-Нитро-*транс*-стирил)-6-метилхинолин**, выход 65%, желтые кристаллы, т. пл. 210–212 °С. Масс-спектр (ЭУ, 70 эВ),  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 290  $[M]^+$  (100). ИК спектр,  $\nu$ , см $^{-1}$ : 1509, 1338 (NO $_2$ ), 970 (CH=CH). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (200 МГц, CDCl $_3$ ),  $\delta$ , м. д.: 2.30 (3H, с, CH $_3$ ), 6.50–8.60 (11H, м, Ar). Найдено, %: C 74.51; H 4.79. C $_{18}$ H $_{14}$ N $_2$ O $_2$ . Вычислено, %: C 74.47; H 4.86.

**Аминостирилхинолины** (общая методика). К раствору 0.001 моль соответствующего нитростирилхинолина в 20 мл HCl добавляют 0.01 моль SnCl $_2$ , кипятят 2 ч, охлаждают до комнатной температуры, осадок отделяют, сушат на воздухе. Выход соответствующего гидрохлорида 75–85%. Гидрохлорид аминостирилхинолина смешивают с сухим NaHCO $_3$ , добавляют 5 мл воды, перемешивают и отфильтровывают выпавший осадок. Полученные аминостирилхинолины очищают методом колоночной хроматографии в системе гексан–ацетон.

**2-(4-Амино-*транс*-стирил)хинолин**, выход 75%, красные кристаллы, т. пл. 156–157 °С (из водного спирта) (т. пл. 154 °С [17]).

**4-(4-Амино-*транс*-стирил)хинолин**, выход 85%, красные кристаллы, т. пл. 147–149 °С (т. пл. 152–154 °С [18]).

**4-(4-Амино-*транс*-стирил)-6-метилхинолин**, выход 83%, красные кристаллы, т. пл. 146–148 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см $^{-1}$ : 3400 (NH $_2$ ). Масс-спектр (ЭУ, 70 эВ),  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 260  $[M]^+$  (100). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (200 МГц, DMSO- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 2.60 (3H, с, CH $_3$ ), 5.50 (2H, уш. с, NH $_2$ ), 6.30–6.80 (3H, м, Ar), 7.50–7.90 (6H, м, Ar, CH=CH), 8.30 (1H, с, Ar), 8.72 (1H, уш. с, Ar). Найдено, %: C 82.91; H 6.07. C $_{18}$ H $_{16}$ N $_2$ . Вычислено, %: C 83.05; H 6.19.

**Азидостирилхинолины** (общая методика). Раствор 1 ммоль соответствующего аминостирилхинолина в 5 мл 10% HCl охлаждают до 0 °С и диазотируют раствором 1 ммоль NaNO $_2$  в 2 мл воды, раствор фильтруют, охлаждают до 5 °С и добавляют при перемешивании раствор 1 ммоль NaN $_3$  в 2 мл воды. Через 1 ч реакционную смесь нейтрализуют насыщенным раствором Na $_2$ CO $_3$  до pH 8. Осадок отфильтровывают, перекристаллизовывают из петролейного эфира. Соединения представляют собой желтые кристаллические вещества, разлагающиеся на свету.

**2-(4-Азидо-*транс*-стирил)хинолин (1)**, выход 80%, желтые кристаллы, т. пл. 110–112 °С. Масс-спектр (ЭС). Найдено:  $m/z$  273.098  $[M+H]^+$ . C $_{17}$ H $_{12}$ N $_4$ . Вычислено: M 272.106. ИК спектр,  $\nu$ , см $^{-1}$ : 2120 (N $_3$ ), 1290 (N $_3$ ), 1596, 1578, 1400 (аром.); 1630, 967 (CH=CH); 831 (*p*-C $_6$ H $_4$ ). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (400 МГц, CDCl $_3$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 8.14 (1H, д,  $J = 8.5$ , хинолин), 8.08 (1H, д,  $J = 8.5$ , хинолин), 7.80 (1H, д,  $J = 9$ , хинолин), 7.72 (1H, т, хинолин), 7.66 (3H, м, хинолин, C $_6$ H $_4$ ), 7.65 (1H, д,  $J = 16.5$ , –CH=), 7.51 (1H, т, хинолин), 7.36 (1H, д,  $J = 16.5$ , =CH–), 7.01 (2H, д,  $J = 8.5$ , C $_6$ H $_4$ ). УФ спектр (EtOH),  $\lambda_{\text{max}}$ , нм ( $\epsilon$ ): 296 (16700), 347 (29140), 359 (27600).

**4-(4-Азидо-*транс*-стирил)хинолин (2)**, выход 86%, желтые кристаллы, т. пл. 85–87 °С. Масс-спектр (ЭС). Найдено:  $m/z$  273.102  $[M+H]^+$ . C $_{17}$ H $_{12}$ N $_4$ . Вычислено: M 272.106. ИК спектр,  $\nu$ , см $^{-1}$ : 2116, 2087 (N $_3$ ), 1289 (N $_3$ ), 1598, 1578, 1508 (аром.); 1629, 961 (CH=CH); 831 (*p*-C $_6$ H $_4$ ). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (200 МГц, (CD $_3$ ) $_2$ CO),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 8.55 (1H, д,  $J = 8.5$ ,

хинолин), 8.1 (1H, д,  $J = 8.5$ , хинолин), 7.2–7.9 (8H, м, хинолин,  $C_6H_4$ ,  $CH=CH$ ), 6.95 (2H, д,  $J = 8.5$ ,  $C_6H_4$ ). УФ спектр (EtOH),  $\lambda_{max}$ , нм ( $\epsilon$ ): 232 (22000), 281 (8830), 349 (24470).

**4-(4-Азидо-транс-стирил)-6-метилхинолин (3)**, выход 80%, желтые кристаллы, т. пл. 132–134 °С. Масс-спектр (ЭС). Найдено:  $m/z$  287.110  $[M+H]^+$ .  $C_{18}H_{14}N_4$ . Вычислено:  $M$  286.122. ИК спектр,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 2127, 2091 ( $N_3$ ), 1303 ( $N_3$ ), 1598, 1577, 1572, 1506 (аром.); 1631, 975, 964 ( $CH=CH$ ); 1366 ( $CH_3$ ); 840 ( $p-C_6H_4$ ). Спектр ЯМР  $^1H$  (400 МГц,  $CDCl_3$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 8.85 (1H, м,  $J = 8.5$ , хинолин), 8.04 (1H, д,  $J = 8.5$ , хинолин), 7.95 (1H, с, хинолин), 7.77 (1H, д,  $J = 16.5$ ,  $-CH=$ ), 7.64 (2H, д,  $J = 8.5$ ,  $C_6H_4$ ), 7.57 (2H, м, хинолин), 7.29 (1H, д,  $J = 16.5$ ,  $CH=$ ), 7.10 (2H, д,  $J = 8.5$ ,  $C_6H_4$ ), 3.72 (3H, с,  $CH_3$ ). УФ спектр (EtOH),  $\lambda_{max}$ , нм ( $\epsilon$ ): 233 (18300), 283 (8050), 346 (19800).

*Авторы выражают благодарность В. И. Козловскому за снятие электроспрейных масс-спектров. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 03-03-32116).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. Ф. Будыка, Н. В. Биктимирова, Т. Н. Гавришова, О. Д. Лаухина, *Журн. физ. химии*, **79**, 1876 (2005).
2. M. F. Budyka, N. V. Biktimirova, T. N. Gavriushova, O. D. Laukhina, D. V. Zemtsov, *J. Photochem. A: Chem.*, **173**, 70 (2005).
3. М. Ф. Будыка, Н. В. Биктимирова, Т. Н. Гавришова, *Химия высоких энергий*, **40**, 208 (2006).
4. R. S. Pandurangi, R. R. Kuntz, W. A. Volkert, *Appl. Radiat. Isotop.*, **46**, 233 (1995).
5. M. J. Bouchet, M. Goeldner, *Photochem. and Photobiol.*, **65**, 195 (1997).
6. М. Ф. Будыка, М. М. Кантор, Р. М. Фаткулбаянов, *ХГС*, 1504 (1997). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **33**, 1301 (1997)].
7. М. Ф. Будыка, Н. В. Биктимирова, Т. Н. Гавришова, О. Д. Лаухина, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2655 (2005).
8. M. F. Budyka, I. V. Oshkin, *J. Mol. Struct. Theochem.*, **759**, 137 (2006).
9. G. Galiazzo, P. Bortolus, G. Gennari, *Gazz. Chim. Ital.*, **120**, 581 (1990).
10. М. Ф. Будыка, М. М. Кантор, М. Ф. Алфимов, *ХГС*, 1340 (1991). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **27**, 1072 (1991)].
11. M. E. C. Biffin, J. Miller, D. B. Paul, in *The Chemistry of the Azido Group*, S. Patai (Ed.), Wiley, New York, 1971, p. 203.
12. П. Гордон, П. Грегори, *Органическая химия красителей*, Мир, Москва, 1987.
13. A. F. Dodonov, V. I. Kozlovski, I. V. Soulimenkov, V. V. Raznikov, A. V. Loboda, Z. Zhen. T. Horwath, H. Wollnik, *Eur. J. Mass Spectrom.*, **6**, 481 (2000).
14. *Свойства органических соединений. Справочник*, под ред. А. А. Потехина, Химия, Москва, 1984, 520 с.
15. S. L. Wang, T. I. Ho, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **135**, 119 (2000).
16. G. Schulte-Frohlinde, *Z. Naturforsch. B. Anorg. Chem. Org. Chem.*, **34**, 1556 (1979).
17. E. Noelting, E. Witte, *Chem. Ber.*, **39**, 2749 (1906).
18. C. Bahner, *J. Org. Chem.*, **23**, 1960 (1958).

Институт проблем химической физики РАН,  
Черноголовка 142432, Московская обл.  
e-mail: budyka@icp.ac.ru

Поступило 12.09.2006