

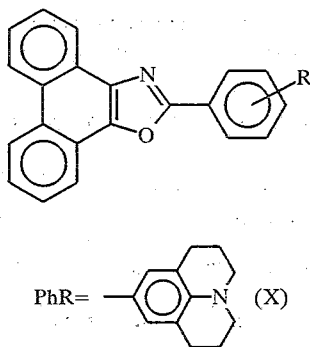
А. О. Дорошенко, Е. А. Посохов, В. М. Шершуков,  
В. Г. Митина, О. А. Пономарев

### СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДНЫХ 2-АРИЛ[9,10]ФЕНАНТРОКСАЗОЛА

Проведен синтез, исследованы спектрально-люминесцентные свойства некоторых 2-арилпроизводных [9,10]фенантроксазола. Показано, что введение акцепторных заместителей в *para*-положение 2-фенильного радикала приводит к изменению природы флуоресцентного состояния, что находит отражение в почти двукратном увеличении константы испускания флуоресценции и полторократном увеличении квантового выхода флуоресценции. Рассмотрены особенности спектрально-люминесцентных свойств производных с внутримолекулярной водородной связью (арил = *ortho*-ОН-фенил) и существенными стерическими затруднениями (арил = 9-антрил).

Арильные производные оксазола находят широкое применение как эффективные люминофоры фиолетового и голубого спектрального диапазонов и активирующие добавки в жидких и пластмассовых сцинтилляторах [1, 2]. В то же время, актуальной остается проблема повышения фото- и радиационной стойкости флуоресцирующих композиций на их основе [3]. Одним из возможных путей ее решения является получение новых производных оксазола с увеличенным размером  $\pi$ -сопряженной системы [3], причем более предпочтительным с точки зрения повышения устойчивости представляется аннелирование бензольных колец, при котором получают молекулы с более жесткой структурой, имеющие часто и более высокие флуоресцентные характеристики [2].

В соответствии с изложенным нами был проведен синтез некоторых производных 2-арил[9,10]фенантроксазола, теоретически и экспериментально изучены спектрально-люминесцентные свойства синтезированных соединений.



Здесь R — заместитель в *p*-положении = H (I), Cl (II), F (III), CN (IV), COOCH<sub>3</sub> (V), NO<sub>2</sub> (VI), C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (VII), OCH<sub>3</sub> (VIII), N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (IX), а также соединения, в которых вместо C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>R введены *o*-ОН-фенил (XI), 9-антрил (XII).

Если представить молекулу 2-фенил[9,10]фенантроксазола как результат аннелирования двух фрагментов — фенантренового и 2-фенилоксазольного, можно ожидать, что ее спектральные свойства будут определяться свойствами этих базисных структур. Для выяснения природы электронных переходов и описания генезиса полос в спектрах поглощения исследуемых соединений и соответствующих базисных молекул нами была проведена

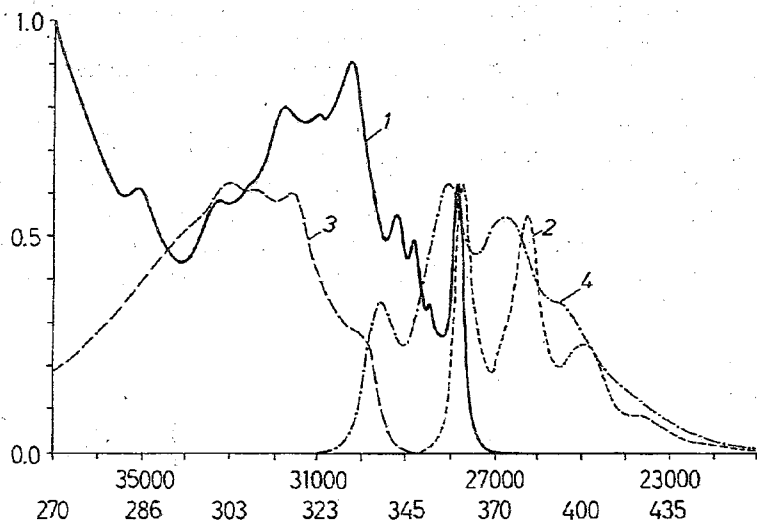


Рис. 1. Спектры поглощения и флуоресценции 2-фенил[9,10]фенантроксазола (1 — поглощение, 2 — флуоресценция) и 2,5-дифенилоксазола (3 — поглощение, 4 — флуоресценция) в октане (волновое число в  $\text{см}^{-1}$ , длина волны в нм)

серия квантово-химических расчетов в полуэмпирическом  $\pi$ -электронном приближении ППП КВ. Для отнесения переходов и анализа перераспределения электронной плотности при возбуждении использовались специальные квантово-химические индексы — числа локализации электронного возбуждения на структурно выделяемых фрагментах ( $L_{\text{фр}}$ ) и числа внутри- ( $I_{\text{A}}$ ) и межфрагментного ( $I_{\text{AB}}$ ) переноса заряда [4].

Электронный спектр поглощения 2-фенантроксазола (I) в области  $27000 \dots 35000 \text{ см}^{-1}$  представляет собой широкую полосу с отчетливо выраженной колебательной структурой (рис. 1). В соответствии с результатами расчета она является огибающей двух полос близких по энергии и интенсивности электронных переходов. На рис. 2 приведены рассчитанные спектры поглощения 2-фенил[9,10]фенантроксазола, фенантроксазола, фенантрена и 2,5-дифенилоксазола (PPO). Последняя молекула рассматривается в качестве модели при возможном представлении молекулы I как аналога PPO с 5-фенильным радикалом, фиксированным фениленовым мостиком.

Анализ чисел локализации электронного возбуждения показывает, что первые два электронных перехода в молекуле 2-фенилфенантроксазола существенно локализованы на оксазолофенантреновом фрагменте ( $L_{\text{фр}} > 70\%$ ). В то же время, энергии и интенсивности этих переходов значительно отличаются от рассчитанных для модельной молекулы фенантроксазола (рис. 2). Для выяснения причины указанного несоответствия нами были проанализированы энергия, симметрия и характер локализации нескольких спектрально важных заполненных и вакантных орбиталей молекулы фенантроксазола и его 2-фенильного производного. Как показал проведенный анализ распределения квадратов коэффициентов разложения молекулярных орбиталей (МО) по атомным орбиталям (АО), две высшие заполненные и две низшие вакантные МО фенантроксазола являются слабо возмущенными аналогами соответствующих орбиталей молекулы фенантрена. В соответствии с этим длинноволновые переходы  $S_0 \rightarrow S_1$  и  $S_0 \rightarrow S_2$  в спектре фенантроксазола, которые формируются с участием этих МО, следует рассматривать как слабо возмущенные переходы в спектре фенантрена ( $\alpha$ - и  $p$ -переходы по номенклатуре Клара [5]). Отнесение длинноволновых переходов 2-фенилфенантроксазола к локально-фенантреновому типу оказывается весьма условным, несмотря на их

достаточно высокую локализацию на фенантреновом фрагменте и существенный вклад последнего во внутривагментный перенос заряда ( $I_A > 50\%$ ). Это является следствием высокой локализации нижней вакантной орбитали молекулы 2-фенилфенантроксазола на 2-фенилоксазольном фрагменте и относительно высокими вкладами в рассматриваемые переходы конфигураций, образованных с участием этой МО. Тем не менее, определенное сходство указанных переходов (и образованных ими возбужденных состояний) 2-фенилфенантроксазола с  $\alpha$ - и  $p$ -переходами фенантрена и фенантроксазола проявляется в эксперименте, что будет отмечено ниже при обсуждении флуоресцентных характеристик исследуемых соединений.

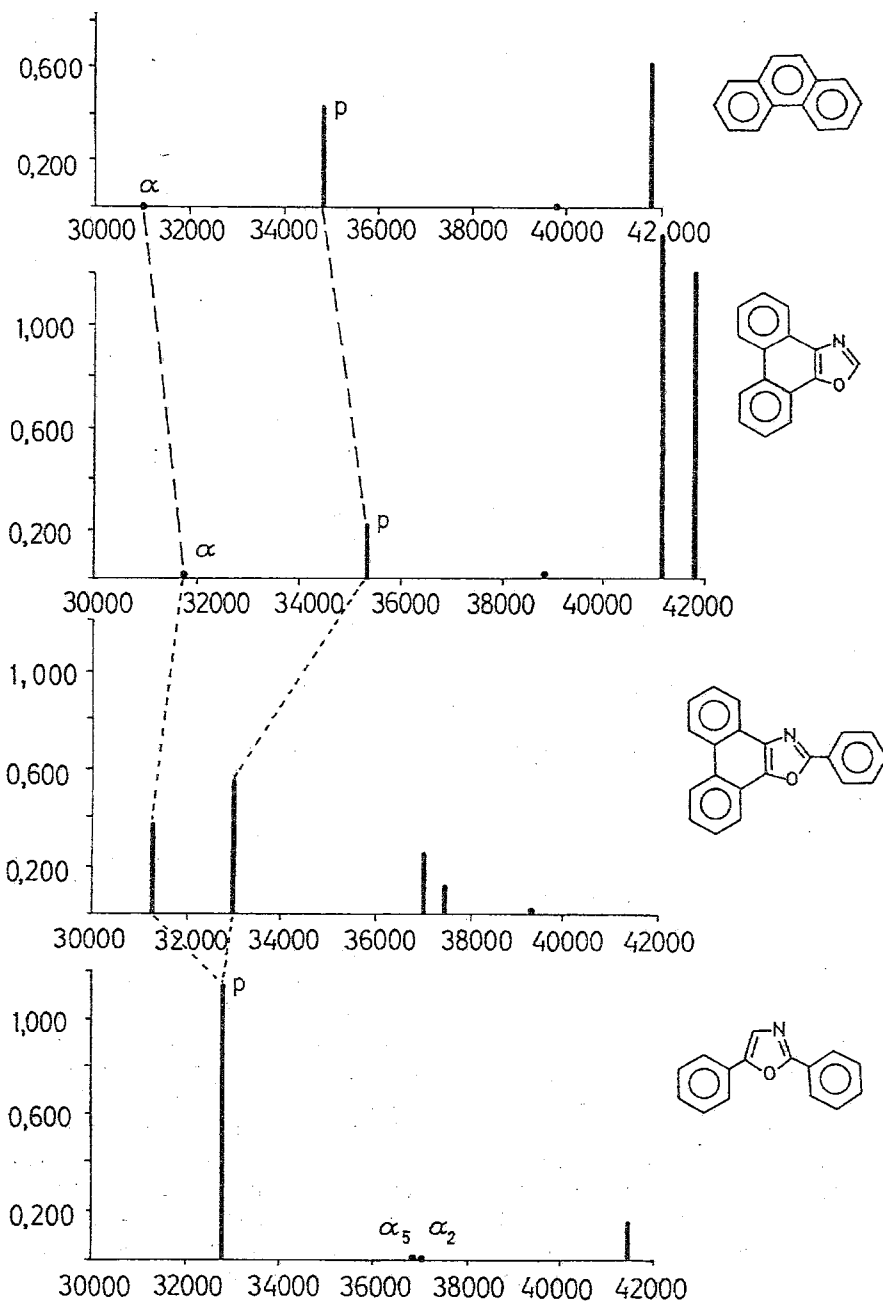
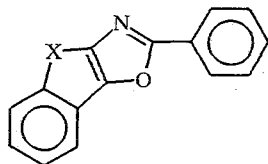


Рис. 2. Спектры поглощения фенантрена, [9,10]фенантроксазола, 2-фенил[9,10]фенантроксазола и 2,5-дифенилоксазола, рассчитанные методом ССП ППП КВ

Вследствие высокой локализации спектрально важных МО на фенантроновом фрагменте молекулу I, по крайней мере с точки зрения спектроскопии, нельзя рассматривать как аналог 2,5-дифенилоксазола с 5-фенильным радикалом, жестко фиксированным фениленовым мостиком, поскольку роль последнего далеко не ограничивается только пространственной фиксацией. Отметим также, что из-за сложного конфигурационного состава переходов  $S_0-S_1$  и  $S_0-S_2$  2-фенилфенантроксазола\* данному типу молекул нельзя придать четкую спектроскопическую классификацию, как это было сделано ранее для структур типа



X — мостиковая группировка  $CH=CH$ ,  $N=CH$ ,  $CO-O$ ,  $CO-NH$  [6]

Проведенный анализ орбитальной природы электронных переходов позволяет объяснить экспериментально наблюдаемое низкочастотное смещение длинноволновой полосы поглощения при введении в *para*-положение 2-фенильного кольца молекулы I электроноакцепторных заместителей и очень слабое влияние на положение длинноволновой полосы электронодонорных заместителей, в частности метоксигруппы. В рамках простых представлений теории возмущений это обусловлено высокой локализацией нижней вакантной молекулярной орбитали на атоме углерода в положении 4 2-фенильного кольца и существенно меньшей локализацией верхней заполненной МО на этом атоме.

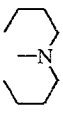
На рис. 1 представлены спектры поглощения и флуоресценции в октано соединении I и одной из модельных структур — молекулы 2,5-дифенилоксазола. В табл. 1 приведены спектрально-люминесцентные характеристики исследуемых соединений в растворителях различной полярности (положения полос в спектрах поглощения и флуоресценции, квантовые выходы, времена жизни возбужденного состояния, а также рассчитанные на их основе константы скоростей первичных фотофизических процессов — испускания флуоресценции  $k_f$  и безызлучательной дегградации  $k_d$ . Как видно из данных, представленных на рис. 1, жесткая структура молекул производных фенантроксазола обуславливает более отчетливое проявление колебательной структуры в спектрах поглощения и флуоресценции по сравнению с аналогичными производными дифенилоксазола. Кроме того, фиксирование бензольного радикала в положении 5 оксазольного цикла РРО фениленовым мостиком приводит к уменьшению внутренней лабильности молекулы, следствием чего является уменьшение стока сдвига и, соответственно, увеличение перекрывания спектров поглощения и флуоресценции. (По этой причине вместо  $\nu_{\max}$  в табл. 1 во многих случаях с целью унификации приведены частоты второго минимума в спектре второй производной от соответствующего спектра поглощения или испускания.)

Введение заместителей в *para*-положение 2-фенильного радикала приводит, как правило, к батохромному смещению длинноволновой полосы поглощения и батофлорному сдвигу спектра испускания. Квантовый выход флуоресценции при замещении несколько увеличивается. В полярных растворителях для производных фенантроксазола с акцепторными заместителями (кроме нитропроизводного, флуоресценция которого полностью потушена вследствие негативного влияния низколежащих  $T_{nl}$ -уровней

\*  $S_0-S_1$ : 49% ( $\chi_{1-1'}$ ) + 20% ( $\chi_{1-2'}$ );  $S_0-S_2$ : 42% ( $\chi_{1-1'}$ ) + 28% ( $\chi_{1-2'}$ ).

Таблица 1

Спектрально-кинетические характеристики и константы скорости первичных фотофизических процессов — испускания флуоресценции и безызлучательной деградации энергии электронного возбуждения для ряда производных 2-фенил[9,10]фенантроксазола

Соединение	R	Растворитель	$\nu_a$ , см <sup>-1</sup>	$\nu_f$ , см <sup>-1</sup>	$\Delta\nu_{ST}$ , см <sup>-1</sup>	$\varphi_f$	$\tau_f$ , нс	$k_f \cdot 10^{-7}$ , с <sup>-1</sup>	$k_d \cdot 10^{-8}$ , с <sup>-1</sup>
I	H	Октан	28480	26280	2200	0,494	4,743	10,4	1,07
		Толуол	28700	26020	2680	0,563	3,965	14,2	1,10
		ДМФА	28880	26120	2760	0,632	3,917	16,1	0,939
II	Cl	Октан	28720	26060	2660	0,700	2,700	25,9	1,11
		Толуол	28520	28540	2880	0,675	2,110	32,0	1,54
		ДМФА	28680	24960	3720	0,774	2,155	35,9	1,05
III	F	Октан	28580	26320	2260	0,418	4,937	8,46	1,18
		Толуол	28760	26080	2680	0,525	4,411	11,9	1,08
		ДМФА	28880	26140	2740	0,631	4,863	13,0	0,759
IV	CN	Октан	27320	26220	2580	0,451	1,903	23,7	2,89
		Толуол	27720	23700	4000	0,772	2,056	37,6	1,11
		ДМФА	26700	22520	4180	0,756	2,624	29,0	0,915
V	COOCH <sub>3</sub>	Октан	27580	26440	2580	0,731	1,856	39,4	1,45
		Толуол	27660	23820	3840	0,746	1,939	38,5	1,31
		ДМФА	27620	22000	5620	0,732	2,570	28,5	1,04
VI	NO <sub>2</sub>	Октан	27460	—	—	—	—	—	—
		Толуол	27180	—	—	—	—	—	—
		ДМФА	26180	—	—	—	—	—	—
VII	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	Октан	28900	26500	3800	0,720	1,534	46,9	1,83
		Толуол	28720	24500	4220	0,784	1,461	53,6	1,48
		ДМФА	27320	23960	3360	0,700	1,683	41,6	1,78
VIII	OCH <sub>3</sub>	Октан	28240	26040	2200	0,477	4,459	10,7	1,17
		Толуол	28880	25800	2560	0,539	4,195	12,9	1,10
		ДМФА	28580	25840	2740	0,587	5,365	10,9	0,770
IX	N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Октан	26800	25000	2620	0,713	1,697	42,0	1,69
		Толуол	26460	24380	2080	0,755	1,483	50,9	1,66
		ДМФА	26220	23360	2860	0,666	2,030	32,8	1,65
X		Октан	26040	25680	1860	0,728	1,336	54,5	2,04
		Толуол	25720	24780	2220	0,784	1,363	57,5	1,58
		ДМФА	26640	22320	4320	0,675	2,841	23,8	1,37
XI	o-OH	Октан	28660	26120 20040	2540 8620	0,069	—	—	—
		Толуол	28380	25720 20100	2660 8280	0,112	—	—	—
		ДМФА	28520	25740 20360	2780 8220	0,033	—	—	—
XII	9-Антрил	Октан	25120	19580	5540	0,618	4,269	14,5	0,896
		Толуол	24500	19200	5300	0,610	4,450	13,7	0,877
		ДМФА	24360	19080	5280	0,648	5,185	12,5	0,679

нитрогруппы [7]) характерны длинноволновые сольватофлуорохромные сдвиги полос испускания, сопровождающиеся размыванием колебательной структуры.

Несколько неожиданными для нас оказались спектрально-флуоресцентные характеристики хлорпроизводного. Так, величина его квантового выхода испускания почти в 1,5 раза превысила аналогичные значения для незамещенного соединения I и его фторпроизводного (III), а сольватофлуорохромное смещение центра тяжести спектра флуоресценции при переходе от октана к диметилформамиду ( $1170 \text{ см}^{-1}$ ) превысило аналогичные спектральные смещения для соединений I ( $590 \text{ см}^{-1}$ ) и III ( $620 \text{ см}^{-1}$ ) почти в два раза. Для хлорпроизводного наблюдается исчезновение колебательной структуры спектра флуоресценции в полярных растворителях, характерное для сильных акцепторных заместителей.

Изложенные факты могут быть объяснены на основании гипотезы об изменении природы флуоресцентного состояния. Так, у соединений I и его производных со слабыми донорными заместителями, такими, как  $\text{OCH}_3$ ,  $\text{F}^*$ , флуоресцентное состояние близко по своей природе к «фенантроновому» состоянию  $\alpha$ -типа. Введение даже такого слабого акцепторного заместителя, как хлор, приводит к инверсии  $S_1$ - и  $S_2$ -состояний 2-фенилфенантроксазола. Переход  $S_0$ — $S_1$ , близкий по своей природе к состояниям  $p$ -типа, является разрешенным, в отличие от состояний, близких по природе к состояниям  $\alpha$ -типа (в равной степени это относится и к переходу  $S_1$ — $S_0$ ). Последнее обстоятельство экспериментально проявляется в ряду производных 2-фенилфенантроксазола в почти двукратном увеличении константы скорости испускания флуоресценции ( $k_f$ , табл. 1) у соединений с флуоресцентным состоянием  $p$ -типа (Cl, CN,  $\text{C}_6\text{H}_5$  и т. д.) по сравнению с соединениями, имеющими флуоресцентное состояние  $\alpha$ -типа (H, F,  $\text{OCH}_3$ ). При практически неизменных значениях констант скорости безызлучательной деградации это приводит к заметному увеличению квантового выхода и снижению времени жизни флуоресценции.

Соединения с сильными донорными заместителями (алкиламиногруппы) имеют флуоресцентное состояние  $p$ -типа благодаря участию в их формировании высоколежащих высших заполненных МО, вносимых алкиламиногруппами в систему орбиталей базовой молекулы. Для них также характерны более высокие квантовые выходы испускания и значительная чувствительность к полярности растворителя. Квантовый выход соединения X (со «структурно фиксированной» диалкиламиногруппой) закономерно превышает выход соединения IX (со свободной аминогруппой) благодаря лучшему сопряжению заместителя с  $\pi$ -системой молекулы и отсутствию тушения флуоресценции при возможном образовании ТИСТ-состояния [9], характерного для диалкиламинопроизводных в полярных растворителях. Следует, однако, отметить, что эффективность флуоресценции в диметилформамиде соединений как IX, так и X несколько уменьшается по сравнению с флуоресценцией в октане и толуоле. По-видимому, в настоящем случае включается иной механизм тушения, отличный от традиционно привлекаемого для объяснения подобного поведения механизма тушения флуоресценции диалкиламинопроизводных в полярных растворителях, включающего образование нелюминесцирующих ТИСТ-состояний [9].

Особую группу в ряду исследуемых производных фенантроксазола составляют соединения XI (*ortho*-ОН) и XII (9-антрильный аналог). При планировании их синтеза ставилась задача уменьшения перекрытия спектров поглощения и испускания, актуальная с точки зрения возможного

\* Атом фтора, введенный непосредственно в бензольное кольцо, проявляет характерные для наиболее электроотрицательного элемента периодической системы акцепторные свойства лишь в рамках индукционного эффекта заместителя и является донором в рамках эффекта сопряжения, что следует, например, из сравнения его констант  $\sigma_m^+$  (+0,352) и  $\sigma_p^+$  (-0,247) [8].

использования в спинтиллиационной технике, за счет увеличения стоковского сдвига флуоресценции вследствие протекания в возбужденном состоянии обратимых фотопроцессов. Остановимся на спектральных характеристиках этих соединений более подробно.

Соединение XII флуоресцирует в зеленой области спектра, поглощая свет лишь в незначительно более длинноволновой области по сравнению с остальными исследуемыми производными фенантроксазола. Стоксов сдвиг превышает сдвиг для соединения I в 2—2,5 раза, а квантовый выход испускания, независимо от растворителя, остается при этом достаточно высоким (0,6—0,65). В спектре поглощения этого соединения не проявляется колебательная структура, характерная как для производных фенантроксазола, так и для производных антрацена, что свидетельствует в пользу неплоского строения молекулы антрильного производного в основном состоянии. Проведенный нами расчет структуры этого соединения в рамках метода молекулярной механики [10] показал, что двугранный угол между плоскостями фенантроксазольного и антрильного фрагментов вследствие стерических затруднений составляет около  $60^\circ$ . Таким образом, сопряжение в данной молекуле в основном состоянии оказывается существенно нарушенным. Как показали квантово-химические расчеты, порядок ординарной связи, соединяющей указанные фрагменты, в  $S_1^*$ -состоянии должен существенно возрасти. В результате при переходе в возбужденное состояние должно происходить уплощение молекулы XII, которое приводит к снижению энергии структурно-релаксированного флуоресцентного состояния по сравнению с исходным Франк—Кондоновским состоянием и к увеличению стоковского сдвига флуоресценции.

Для другого представителя этой группы — соединения XI — характерно наличие достаточно прочной внутримолекулярной водородной связи между протоном *орто*-гидроксильной группы и атомом азота оксазольного цикла. При возбуждении подобных молекул с большой вероятностью происходит внутримолекулярный фотоперенос протона [11], в результате которого в спектре флуоресценции наблюдаются полосы испускания как исходной формы ( $\sim 26000 \text{ см}^{-1}$ ), так и фототауомера ( $\sim 20000 \text{ см}^{-1}$ ). Спектры возбуждения флуоресценции при  $26000$  и  $20000 \text{ см}^{-1}$  идентичны и достаточно хорошо соответствуют спектру поглощения, что говорит о протекании данной реакции только в возбужденном состоянии. Кинетика затухания флуоресценции в коротковолновой полосе моноэкспоненциальна, в длинноволновой полосе — двухэкспоненциальна с отрицательным предэкспоненциальным множителем меньшей из экспонент. Это может свидетельствовать в пользу необратимости реакции фотопереноса протона (фототауомеризации), протекающей в возбужденном состоянии [12].

В отличие от соединения XII, для которого характерно практически адиабатическое протекание фотопроцесса, у *орто*-оксипроизводного реакция переноса протона в возбужденном состоянии сопровождается существенным индуцированным тушением флуоресценции (квантовый выход испускания падает по сравнению с незамещенным соединением или с ОСН<sub>3</sub>-производным приблизительно в 5—8 раз). При переходе от октана к толуолу эффективность реакции несколько возрастает, о чем свидетельствует увеличение относительной интенсивности длинноволновой полосы (одновременно несколько возрастает и общий квантовый выход флуоресценции). В то же время, в диметилформамиде относительная интенсивность испускания фототауомера резко уменьшается, что также сопровождается снижением общей эффективности флуоресценции. Одной из вероятных причин этого может быть конкуренция процессов образования внутримолекулярной водородной связи и межмолекулярной водородной связи с молекулами высокоосновного растворителя — диметилформамида.

Более детальное исследование фотопроцессов, протекающих при возбуждении соединений XI и XII, составит предмет наших дальнейших публикаций.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Электронные спектры поглощения измерены на спектрофотометре НТАСНІ U3210, спектры возбуждения и испускания флуоресценции — на спектрофлуориметре НТАСНІ F4010. Квантовые выходы флуоресценции измерены относительно бисульфата хирина в 1 н. серной кислоте ( $\varphi = 0,546$  [13]) с введением квадратичной поправки на показатель преломления. Времена жизни флуоресценции были получены на наносекундном импульсном флуорометре, работающем в режиме счета фотонов (описание см. в работе [14]), кинетические данные обрабатывали по методу наименьших квадратов [15, 16]. Квантово-химические расчеты по методу ССП ППП КВ с учетом до 100 однократно возбужденных конфигураций произведены с набором параметров, предложенным в публикации [17].

Соединения I—XII, исследуемые в настоящей работе, были получены конденсацией 9,10-фенантрехинонмоноимида с ароматическими альдегидами в растворе в изопропиловом спирте в присутствии пиперидина (температуры плавления и данные элементного анализа приведены в табл. 2).

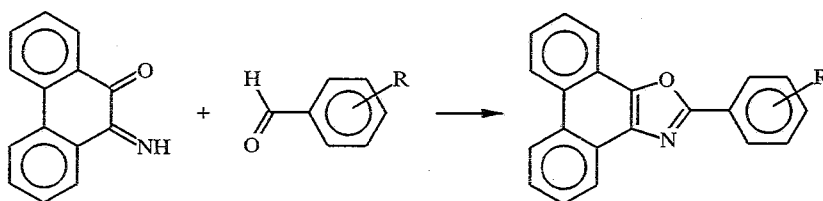
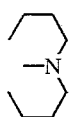


Таблица 2

Температуры плавления и данные элементного анализа синтезированных производных 2-арил[9,10]фенантроксазола

Соединение	Брутто-формула	R	$T_{пл}$ , °C	Вычислено, N%	Найдено, N%
I	C <sub>21</sub> H <sub>13</sub> NO	H	179...180	4,8	4,7
II	C <sub>21</sub> H <sub>12</sub> ClNO	4-Cl	259...260	4,3	4,3
III	C <sub>21</sub> H <sub>12</sub> FNO	4-F	228...229	4,5	4,4
IV	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O	4-CN	309...310	8,7	8,7
V	C <sub>23</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>	4-COOCH <sub>3</sub>	252...253	4,0	3,9
VI	C <sub>21</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-NO <sub>2</sub>	256...257	8,2	8,0
VII	C <sub>27</sub> H <sub>17</sub> NO	4-C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	333...334	3,8	3,7
VIII	C <sub>22</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>2</sub>	4-OCH <sub>3</sub>	214...215	4,3	4,3
IX	C <sub>23</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O	4-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	236...237	8,3	8,3
X	C <sub>27</sub> H <sub>20</sub> N <sub>2</sub> O		261...263	7,2	7,5
XI	C <sub>21</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	2-OH	231...232	4,5	4,4
XII	C <sub>29</sub> H <sub>17</sub> NO	(9-Антрил)	311...312	3,5	3,6

*Представленная работа финансируется Государственным фондом фундаментальных исследований Украины (проект № 3.3/62), а также International Science Foundation (фонд Дж. Сороса, гранты № 37000 и U2V000).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Birks J. B.* The theory and practice of scintillation counting. — Oxford etc.: Pergamon Press, 1967. — 662 p.
2. *Красовицкий Б. М., Болотин Б. М.* Органические люминофоры. — М., 1984. — 336 с.
3. *Гундер О. А.* Исследование радиационной стойкости пластмассовых сцинтилляторов. — Институт монокристаллов. Препринт ИМК-91-15. — Харьков, 1991. — 18 с.
4. *Лузанов А. В.* // Успехи химии. — 1980. — Т. 69, № 11. — С. 2086.
5. *Клар Э.* Полициклические углеводороды. — М.: Мир, 1971. — Т. 1. — 455 с.
6. *Сухоруков А. А., Пономарев О. А., Брусильцев Ю. Н., Митина В. Г.* // Журн. физ. химии. — 1991. — Т. 65, № 7. — С. 1838.
7. *Нурмухаметов Р. Н., Тищенко В. Г.* // Оптика и спектроскопия. — 1967. — Т. 23, № 1. — С. 83.
8. *Жданов Ю. А., Минкин В. И.* Корреляционный анализ в органической химии. — Ростов: Изд-во Рост. ун-та, 1966. — 470 с.
9. *Grabovski Z. R.* // Acta Phys. Polon. — 1987. — Vol. A71, N 5. — P. 743.
10. *Sprague J. T., Tai J. C., Juh J., Allinger N. L.* // J. Comput. Chem. — 1987. — Vol. 8, N 5. — P. 581.
11. *Klopfner W.* // Adv. Photochem. — 1977. — Vol. 10. — P. 311.
12. *Лахович Дж.* Основы флуоресцентной спектроскопии. — М.: Мир, 1986. — 496 с.
13. *Melhuish W. A.* // J. Phys. Chem. — 1961. — Vol. 65, N 2. — P. 229.
14. *Пономарев О. А., Дорошенко А. О., Митина В. Г.* // Химическая физика. — 1989. — Т. 8, № 10. — С. 1369.
15. *Grinvald A., Steinberg I. Z.* // Anal. Biochem. — 1974. — Vol. 59, N 2. — P. 583.
16. *Башарин С. К., Гачко Г. А., Кисач Л. Н.* // Журн. прикл. спектр. — 1990. — Т. 52, № 1. — С. 48.
17. *Griffiths J.* // Dyes and pigments. — 1982. — Vol. 3, N 2—3. — P. 211.

Харьковский государственный университет,  
Харьков 310077

Поступило в редакцию 23.02.94

Институт монокристаллов НАН Украины,  
Харьков 310001