

ФОТОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПИРАЗОЛОНОВЫХ АЗОКРАСИТЕЛЕЙ НА ИК-ПОГЛОТИТЕЛИ В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ

© А. В. Земцова, Н. Б. Соколова

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26
E-mail: iwannabeyourhelios@gmail.com

Поступила в Редакцию 15 июня 2019 г.

После доработки 11 марта 2021 г.

Принята к публикации 11 марта 2021 г.

Проведено исследование фотодеструкции металлсодержащих органических красителей, поглощающих свет в ближней ИК-области спектра. Изучена светостойкость в полимерной матрице как индивидуальных красителей, так и их бинарных смесей с моноазокрасителями пиразолонового ряда. Исследование проводилось на протяжении 10 ч инсоляции. Степень разложения красителя под действием света определяли по уменьшению его оптической плотности на аналитической длине волны в электронных спектрах поглощения. Было показано светостабилизирующее влияние на ИК-поглотители пиразолоновых азокрасителей, содержащих нитрогруппу. Даны рекомендации по использованию исследованных металлсодержащих и пиразолоновых красителей при создании светостойких полимерных светофильтров.

Ключевые слова: фотодеструкция; полимерные пленки; УФ-поглотители; ИК-поглотители; этилендитиолаты; комплексы железа

DOI: 10.31857/S004446182105011X

В современных оптических приборах широко применяются светофильтры для выделения, подавления, преобразования части светового потока. Наиболее часто для изготовления светофильтров используются полимерные материалы, преимуществами которых являются эластичность, низкая плотность и хорошо воспроизводимые спектральные характеристики. Полимерные материалы, создающие основу светофильтра, должны быть максимально прозрачными и негорючими.

Для изготовления светофильтров широко используется триацетат целлюлозы. На его основе изготавливаются негативные фотоленки общего назначения, радиографические, рентгеновские и α -радиоленки, пленки для микрофильмирования, кинематографии и др. [1–3]. В связи с относительно высокой хрупкостью триацетат целлюлозы модифицируют частичным гидролизом путем обработки разбавленной серной кислотой. Также применяется более прочный, негорючий полиэтилентерефталат, двухстороннеориентированный и закристаллизованный, который хуже совмещается с красителями [4, 5]. Из сложных эфиров целлюлозы хорошим пленкообразу-

ющим полимером является и ацетобутират, который превосходит триацетат целлюлозы по пластичности, водо- и светостойкости [6].

В качестве поглощающих агентов в полимерных пленочных светофильтрах используют органические красители, имеющие максимумы поглощения в видимой области спектра. Но большинство современных оптических приборов чувствительны и в ИК-области спектра. Чтобы подавить пропускание света в ближней ИК-области спектра и создать светофильтр, пропускающий свет только в видимой области, в него дополнительно вводят вещества, поглощающие свет в ИК-области (ИК-поглотители). Однако такие добавки могут тоже поглощать свет в видимой области спектра и исказить созданную спектральную характеристику фильтра, а также они могут негативно сказываться на светостойкости всей композиции. Для светофильтров с использованием гидрофобных полимеров, к которым относится ацетобутират целлюлозы, одними из лучших ИК-поглотителей в настоящее время являются этилендитиолатные комплексы Ni и Pt, которые в зависимости от строения лиганда поглощают

свет в диапазоне 735–1070 нм и при этом имеют слабое поглощение в видимой области спектра, что позволяет создавать светофильтры с требуемыми спектральными характеристиками и высоким пропусканием света в максимуме пропускания [7, 8]. В качестве ИК-поглотителей для области 730–740 нм возможно использование Fe(II)-комплексов α -нитрозо- β -нафтола и 1,2-антрацендиамина [9–11].

Помимо необходимости исключать пропускание света в ИК-области часто требуется, чтобы светофильтр не пропускал свет и в УФ-области. Для этой цели хорошо подходят моноазокрасители пятичленных гетероциклов, характеризующиеся узкополосными спектрами и минимально поглощающие свет в видимой области спектра.

Желто-оранжевые красители на основе фурана и тиофена поглощают свет в видимой области спектра, а производные 1-фенил-3-метил-5-гидроксипиразола — в диапазоне 380–410 нм. Вместе с тем они характеризуются высокой светостабилизирующей способностью [12–14].

Таким образом, при разработке многих светофильтров оптимальным является использование в качестве УФ- и ИК-поглотителей бинарных смесей этилендиатиолатных комплексов металлов с моноазокрасителями пиразолонового ряда.

Цель работы — создание светостойких бинарных композиций красителей, поглощающих свет в УФ- и ИК-областях спектра, которые могут использоваться в полимерных пленочных светофильтрах для оптических приборов, чувствительных в ИК-области спектра.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны ИК-поглотители на основе этилендиатиолатов Ni (I)–(IV) (табл. 1), комплексные соединения Fe(II) с α -нитрозо- β -нафтолом (V) и 1,2-антрацендиамином (VI).

ИК-поглотители (I)–(VI) были описаны ранее [4–6]. Азокрасители (VII)–(XII) (табл. 2) были синтезированы по двустадийной методике реакцией диазотирования соответствующих аминов и сочетанием диазосоединений [15] с 1-фенил-3-метил-5-пиразолоном, после чего красители были очищены с помощью колоночной хроматографии на оксиде алюминия, элюент — хлороформ, с последующей кристаллизацией из толуола и этанола. Была использована хроматографическая колонка Agilent HC-C18(2) 4.6 мм \times 250 мм 588905-902 (Лабтех).

Исходные реагенты для синтеза и очистки красителей. 3-Метил-1-фенил-2-пиразолин-5-он (№ M70800 Sigma-Aldrich, 99%, CAS 89-25-8); антра-

ниловая кислота (№ 8.20112 Sigma-Aldrich, для синтеза, CAS 118-92-3); *o*-анизидин (№ 31597 Supelco, аналитический стандарт, CAS 90-04-0); 2-нитроанилин (№ 9780 Sigma-Aldrich, 98%, CAS 88-74-4); 4-нитроанилин (№ 8.22292 Sigma-Aldrich, для синтеза, CAS 100-01-6); 3-нитроанилин (№ 9829 Sigma-Aldrich, 98%, CAS 99-09-2); 2-хлоранилин (№ 8.02611 Sigma-Aldrich, для синтеза, CAS 95-51-2); нитрит натрия (№ 237213 Sigma-Aldrich, реагент высшей степени чистоты, $\geq 97\%$, CAS 7632-00-0); алюминия оксид (№ 199974 Sigma-Aldrich, активированный, нейтральный, Brockmann I, CAS 1344-28-1); толуол (№ 1.08327 Supelco, для жидкостной хроматографии LiChrosolv, CAS 108-88-9); хлороформ [№ 25690 Sigma-Aldrich, чистый для анализа, $\geq 99.8\%$ (хлороформ + этанол, для газовой хроматографии), CAS 67-66-3]; этиловый спирт (№ 493511 Sigma-Aldrich, для спектрофотометрии, 95%, CAS 64-17-5); хлористоводородная кислота (№ 258148 Sigma-Aldrich, 37%, CAS 76-47-01-0); полимерная основа светофильтров — целлюлозы ацетат-бутират (№ 419052 Sigma-Aldrich, средняя $M_n = 30\ 000$, CAS 9004-36-8).

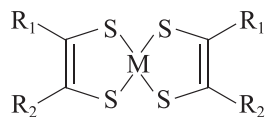
Были изготовлены светофильтры, содержащие индивидуальные красители, а также бинарные композиции, в которых каждый ИК-поглотитель (I)–(VI) смешивали поочередно с одним из УФ-поглотителей (VII)–(XII).

Светофильтры изготавливали из ацетобутирата целлюлозы, который по некоторым показателям, в частности по влагостойкости и безусадочности, превосходит триацетат целлюлозы. Используемые для изготовления светофильтров гидрофобные фильтровые красители не взаимодействовали с этим полимером, что позволяло рассчитать концентрацию красителей для создания необходимой спектральной характеристики, а затем воспроизвести ее в полимерном светофильтре. При расчете концентраций красителей использовали их спектры поглощения в растворителе, представляющем собой смесь хлороформа и этанола в соотношении 85:15.

Ацетобутиратные пленки, содержащие индивидуальный краситель либо определенную бинарную композицию, изготавливали методом полива окрашенной полимерной композиции на полированное стекло с ограничительной рамкой с последующей сушкой при 25–27°C в течение 3 сут [16]. Было изготовлено 48 пленок: 12 с индивидуальными красителями и 36 — с бинарными композициями. Толщина пленок составляла 0.15 ± 0.02 мм, оптическая плотность на аналитических длинах волн — от 1.1 до 0.7.

Инсоляцию проводили на установке ускоренного светостарения Standart Xenon Long Life Fade Meter

Таблица 1
ИК-поглотители на основе этилендителиатов никеля



Краситель	Наименование	R ₁	R ₂	M	Длина волны максимума поглощения света λ _{max} , нм
(I)	Бис(1,2-диметилэтилендителиат)-никель (ДАН)	CH ₃	CH ₃	Ni	770
(II)	Бис(1,2-дифенилэтилендителиат)-никель (ДФН)	C ₆ H ₅	C ₆ H ₅	Ni	850
(III)	Бис[1,2-ди(3',4'-диметокси)фенилэтилендителиат]никель (ДМН)	3,4-(OCH ₃) ₂ -C ₆ H ₅	3,4-(OCH ₃) ₂ -C ₆ H ₅	Ni	950
(IV)	Бис[1-(4'-диметиламино)фенил-2-фенил-1,2-этилендителиат]никель (БДН)	<i>n</i> -N(CH ₃) ₂ -C ₆ H ₅	C ₆ H ₅	Ni	1070

Комплекс Fe(II) с α-нитрозо-β-нафтолом (V) Комплекс Fe(II) с 1,2-антрацендиамином (VI)

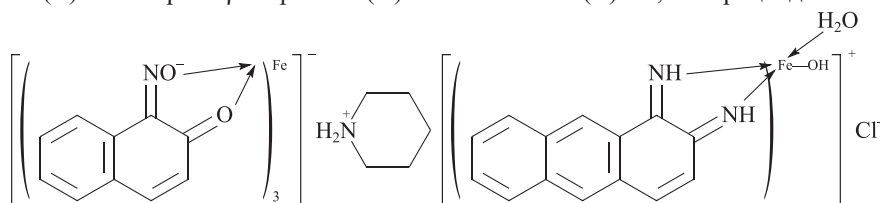
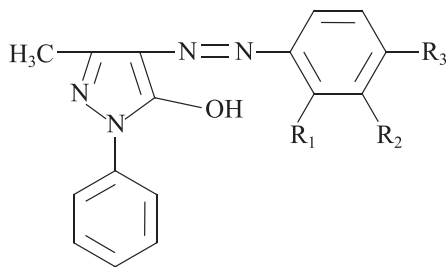


Таблица 2
Моноазокрасители 1-фенил-3-метил-5-гидроксипиразола



Краситель	R ₁	R ₂	R ₃	Длина волны максимума поглощения света λ _{max} , нм
1-Фенил-3-метил-4-(2'-карбокси)фенилазо-5-гидроксипиразол (VII)	COOH	H	H	390
1-Фенил-3-метил-4-(2'-хлор)фенилазо-5-гидроксипиразол (VIII)	Cl	H	H	390
1-Фенил-3-метил-4-(2'-метокси)фенилазо-5-гидроксипиразол (IX)	OCH ₃	H	H	410
1-Фенил-3-метил-4-(2'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол (X)	NO ₂	H	H	410
1-Фенил-3-метил-4-(3'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол (XI)	H	NO ₂	H	380
1-Фенил-3-метил-4-(4'-нитро)-фенилазо-5-гидроксипиразол (XII)	H	H	NO ₂	400

модели XFL-1 (Suga) по методике, использованной ранее [6]. В этой установке ксеноновая лампа мощностью 1.5 кВт излучает свет, близкий по спектру к

солнечному свету. Облучение образцов осуществляли в автоматическом режиме при 30°C и влажности воздуха 65%, время полной инсоляции составляло

10 ч. За ходом фотодеструкции, т. е. выцветания красителей, следили по изменению оптической плотности на аналитической длине волны в электронных спектрах поглощения. Спектры регистрировали на спектрофотометре СФ-46, погрешность определения оптической плотности составляет ± 0.001 . Спектры засвеченных образцов регистрировали каждые 15 мин в течение первого часа и каждый час в дальнейшем. Перед измерением оптической плотности инсолированные образцы выдерживали в темноте при комнатной температуре в течение 24 ч для завершения фотопротекста. Одновременно с окрашенными образцами засвечивали бесцветную ацетобутиратную пленку, по отношению к которой регистрировали спектры поглощения.

Степень фотодеструкции Φ_D (%) рассчитывали по формуле

$$\Phi_D = \left(\frac{D_0 - D_i}{D_0} \right) \cdot 100\%,$$

где D_0 — оптическая плотность красителя на аналитической длине волны до инсоляции, D_i — оптическая плотность красителя на аналитической длине волны после определенной инсоляции.

Все эксперименты по инсоляции окрашенных образцов повторяли трижды. Погрешность определения степени фотодеструкции составляла $\pm 0.1\%$.

Обсуждение результатов

Результаты фотодеструкции ИК-поглощителей в присутствии азокрасителей пиразолона приведены в табл. 3, а фотодеструкции пиразолоновых красителей в присутствии ИК-поглощителей — в табл. 4.

Таблица 3
Фотодеструкция ИК-поглощителей в полимерных светофильтрах

Композиция красителей	Степень фотодеструкции, %		Композиция красителей	Степень фотодеструкции, %	
	за 60 мин инсоляции Φ_D (60 мин)	за 600 мин инсоляции Φ_D (600 мин)		за 60 мин инсоляции Φ_D (60 мин)	за 600 мин инсоляции Φ_D (600 мин)
(I)	7.5	18.2	(IV)	5.6	7.2
(I) + (VII)	1.6	12.4	(IV) + (VII)	3.1	5.1
(I) + (XIII)	1.9	10.6	(IV) + (VIII)	6.1	7.8
(I) + (IX)	3.9	13.0	(IV) + (IX)	4.0	4.6
(I) + (X)	3.0	12.7	(IV) + (X)	4.0	7.1
(I) + (XI)	1.8	9.5	(IV) + (XI)	2.6	5.2
(I) + (XII)	1.4	7.1	(IV) + (XII)	3.3	6.8
(II)	1.7	8.0	(V)	5.0	9.5
(II) + (VII)	1.9	5.3	(V) + (VII)	6.8	10.2
(II) + (VIII)	1.1	5.0	(V) + (VIII)	3.0	5.0
(II) + (IX)	3.9	8.5	(V) + (IX)	1.5	4.8
(II) + (X)	0.9	4.7	(V) + (X)	5.8	9.4
(II) + (XI)	1.3	5.0	(V) + (XI)	0.5	4.8
(II) + (XII)	1.0	4.8	(V) + (XII)	5.4	9.1
(III)	3.3	13.0	(VI)	10.9	13.2
(III) + (VII)	0.7	10.5	(VI) + (VII)	2.5	7.0
(III) + (VIII)	1.1	7.7	(VI) + (VIII)	6.3	10.2
(III) + (IX)	1.4	13.0	(VI) + (IX)	5.7	6.7
(III) + (X)	4.5	12.4	(VI) + (X)	2.2	6.5
(III) + (XI)	3.4	12.2	(VI) + (XI)	8.7	11.8
(III) + (XII)	1.7	12.9	(VI) + (XII)	5.9	7.3

Примечание. (I) — бис(1,2-диметилэтилендитионат)никель (ДАН); (II) — бис(1,2-дифенилэтилендитионат)никель (ДФН); (III) — бис[1,2-ди(3',4'-диметокси)фенилэтилендитионат]никель (ДМН); (IV) — бис[1-(4'-диметиламино)-фенил-2-фенил-1,2-этилендитионат]никель (БДН); (V) — комплекс Fe(II) с α -нитрозо- β -нафтолом; (VI) — комплекс Fe(II) с 1,2-антрацендиамином; (VII) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-карбоксо)фенилазо-5-гидроксипиразол; (VIII) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-хлор)фенилазо-5-гидроксипиразол; (IX) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-метокси)фенилазо-5-гидроксипиразол; (X) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол; (XI) — 1-фенил-3-метил-4-(3'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол; (XII) — 1-фенил-3-метил-4-(4'-нитро)-фенилазо-5-гидроксипиразол.

Таблица 4
Фотодеструкция УФ-поглотителей в полимерных светофильтрах

Композиция красителей	Степень фотодеструкции, %		Композиция красителей	Степень фотодеструкции, %	
	за 60 мин инсоляции ФД (60 мин)	за 600 мин инсоляции ФД (600 мин)		за 60 мин инсоляции ФД (60 мин)	за 600 мин инсоляции ФД (600 мин)
(VII)	0	3.9	(X)	0	0
(VII) + (I)	1.5	5.2	(X) + (I)	0.9	1.6
(VII) + (II)	0.6	4.5	(X) + (II)	0.6	2.7
(VII) + (III)	1.1	6.3	(X) + (III)	0.5	2.9
(VII) + (IV)	8.8	18.2	(X) + (IV)	2.5	7.8
(VII) + (V)	1.3	9.0	(X) + (V)	1.6	4.5
(VII) + (VI)	5.7	9.6	(X) + (VI)	0.9	3.4
(VIII)	0	2.0	(XI)	0	0
(VIII) + (I)	0.9	3.5	(XI) + (I)	0.4	3.0
(VIII) + (II)	1.0	4.1	(XI) + (II)	1.2	3.6
(VIII) + (III)	1.1	5.3	(XI) + (III)	1.0	4.1
(VIII) + (IV)	3.5	8.2	(XI) + (IV)	2.3	9.8
(VIII) + (V)	6.0	9.0	(XI) + (V)	1.6	3.7
(VIII) + (VI)	5.6	10.5	(XI) + (VI)	3.1	4.6
(IX)	2.5	15.3	(XII)	0	0
(IX) + (I)	2.1	8.0	(XII) + (I)	0.7	3.1
(IX) + (II)	1.8	4.9	(XII) + (II)	0.4	2.31
(IX) + (III)	2.4	15.3	(XII) + (III)	2.0	4.9
(IX) + (IV)	1.8	7.5	(XII) + (IV)	2.3	9.1
(IX) + (V)	7.9	20.7	(XII) + (V)	0.7	5.8
(IX) + (VI)	2.6	20.1	(XII) + (VI)	4.5	5.0

Примечание. (I) — бис(1,2-диметилэтилендитиолат)никель (ДАН); (II) — бис(1,2-дифенилэтилендитиолат)никель (ДФН); (III) — бис[1,2-ди(3',4'-диметокси)фенилэтилендитиолат]никель (ДМН); (IV) — бис[1-(4'-диметиламино)-фенил-2-фенил-1,2-этилендитиолат]никель (БДН); (V) — комплекс Fe(II) с α -нитрозо- β -нафтолом; (VI) — комплекс Fe(II) с 1,2-антрацендиамином; (VII) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-карбоксо)фенилазо-5-гидроксипиразол; (VIII) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-хлор)фенилазо-5-гидроксипиразол; (IX) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-метокси)фенилазо-5-гидроксипиразол; (X) — 1-фенил-3-метил-4-(2'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол; (XI) — 1-фенил-3-метил-4-(3'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол; (XII) — 1-фенил-3-метил-4-(4'-нитро)фенилазо-5-гидроксипиразол.

Из четырех этилендитиолатных комплексов Ni (ИК-поглотители) наименее светостойкий ДАН (I) стабилизировался всеми исследованными пиразолоновыми азокрасителями. Более светостойкие ИК-поглотители ДФН (II) и БДН (IV) стабилизировались этими красителями в меньшей степени. Наиболее светостойкий краситель ДМН (III) стабилизировался только красителями (VII) и (VIII), содержащими —COOH-группу и —Cl, в остальных случаях исходная светостойкость практически не изменялась. Пиразолоновый краситель с электронодонорной OCH₃-группой (IX) незначительно стабилизировал комплекс (I) и не стабилизировал комплекс (II).

У Fe-комплексов α -нитрозо- β -нафтола (V) и 1,2-диаминоантрацена (VI) светостойкость возрас-

тала в присутствии всех изученных пиразолоновых красителей, за исключением красителя (VII), содержащего COOH-группу в смеси с α -нитрозо- β -нафтольным комплексом (V).

Моноазокрасители пиразолона характеризуются очень высокой индивидуальной светостойкостью. Красители, содержащие электроноакцепторную NO₂-группу в любом положении, не подвергались фотодеструкции даже после 10 ч инсоляции. Исключение составлял краситель (IX), содержащий OCH₃-группу. В композициях с ИК-поглотителями светостойкость пиразолоновых азокрасителей несколько снижалась: у наиболее светостойких красителей с NO₂-группой незначительно, сильнее — у красителя (IX), содержащего электронодонорную OCH₃-группу. Таким образом, чем выше была индивидуальная светостойкость

красителя, тем меньше он подвергался отрицательному воздействию ИК-поглотителей. Однако в целом светостойкость бинарной системы в их присутствии оставалась достаточно высокой.

Выводы

Светостойкость красителей, поглощающих свет в длинноволновой видимой и ближней ИК-области спектра, в бинарных композициях с пиразолоновыми моноазокрасителями зависит от природы заместителей, содержащихся в фенильном кольце последних. Наилучшая светостабилизация достигается в том случае, когда в качестве электроноакцепторного заместителя выступает нитрогруппа независимо от ее положения в фенильном кольце моноазокрасителя.

Бинарные смеси на основе исследованных комплексов металлов (ИК-поглотителей) и моноазокрасителей пиразолона (УФ-поглотителей) являются оптимальными добавками при создании светофильтров, так как в этом случае достигается высокая светостойкость фильтра при максимально возможном пропускании света в видимой области спектра.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Информация об авторах

Земцова Анастасия Владимировна,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4363-7645>

Соколова Наталья Борисовна, к.х.н., доцент,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7355-5184>

Список литературы

- [1] Kiyama A., Nobukawa S., Yamaguchi M. Birefringence control of solution-cast film of cellulose triacetate // *Opt. Mater.* 2017. V. 72. P. 491–495. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.06.048>
- [2] Hayakawa D., Ued K. Computational study to evaluate the birefringence of uniaxial oriented film of cellulose triacetate // *Carbohydr. Res.* 2015. V. 402. P. 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2014.10.021>
- [3] Гараева М. Р., Готлиб Е. М., Никитина Н. Н., Косточко А. В. Изучение реологических характеристик пластифицированного триацетата целлюлозы // *Химия и хим. технология.* 2006. Т. 49. Вып. 9. С. 49–52.
- [4] Satulu V., Mitu B., Pandele A. M., Voicu S. I., Kravets L., Dinescu G. Composite polyethylene terephthalate track membranes with thin teflon-like layers: Preparation and surface properties // *Appl. Surf. Sci.* 2019. V. 76. P. 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.01.109>
- [5] Goh C. S., Tan S. C., Wet N. J. Surface treatment of polyethylene terephthalate (PET) film of lamination of flexible photovoltaic devices // *Energy.* 2012. V. 15. P. 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.052>
- [6] Соколова Н. Б., Ковжина Л. П., Дмитриева Н. М., Чернятьева О. В. Светостойкость ИК светофильтров на полимерной основе // *ЖПХ.* 2003. Т. 76. № 10. С. 1688–1691 [Sokolova N. B., Kovzhina L. P., Dmitrieva N. M., Chernyat'eva O. V. Lightfastness of IR light filter on polymer base // *Russ. J. Appl. Chem.* 2003. V. 76. N 10. P. 1643–1646. <https://doi.org/10.1023/B:RJAC.0000015729.02309.ea>]
- [7] Kokatam S., Ray K., Pap J., Bill E., Geiger W. E., LeSuer R. J., Rieger P. H., Weyhermüller T., Neese F., Wieghardt K. Molecular and electronic structure of square-planar gold complexes containing two 1,2-di(4-*tert*-butylphenyl)ethylene-1,2-dithiolato ligands: [Au(2L)₂]^{1+/0/1-/2-}. A combined experimental and computational study // *Inorg. Chem.* 2007. V. 46. P. 1100–1111. <https://doi.org/10.1021/ic061181u>
- [8] Papavassiliou G. C., Anyfantis G. C., Raptopoulou C. P., Psycharis V., Ioannidis N., Petrouleas V., Paraskevopoulou P. Bis[1,2-diphenyl-1,2-ethylenedithiolato(2-)-kS₁,kS₂] gold: Preparation, structure and properties // *Polyhedron.* 2009. V. 28. P. 3368–3372. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2009.05.045>
- [9] Gurrieri S., Siracusa G. Coordination compounds of 1-nitroso-2-naphthol and 2-nitroso-1-naphthol // *Inorg. Chim. Acta.* 1971. V. 5. P. 650–654. [https://doi.org/10.1016/S0020-1693\(00\)96003-1](https://doi.org/10.1016/S0020-1693(00)96003-1)
- [10] Sheng X., Qiao L., Wang H., Wang F. Highly efficient and quantitative synthesis of a cyclic carbonate by iron complex catalysts // *Polyhedron.* 2014. V. 74. P. 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2014.02.047>
- [11] Bratvold J. E., Carraro G., Baressa D., Nilsen O. An iron(II) diketonate–diamine complex as precursor for thin film fabrication by atomic layer deposition // *Appl. Surf. Sci.* 2015. V. 72. P. 861–867. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.apsusc.2015.04.154>
- [12] Gunkara O. T., Bagdatli E., Ocal N. Synthesis of new pyrazolone dyes // *J. Chem. Res.* 2013. V. 37 (4). P. 227–231. <https://doi.org/10.3184%2F174751913X13636169962208>
- [13] Rizk H. F., El-Borai M.A., El-Hefnawy G. B., El-Sayed H. F. Synthesis and application of some azo and azomethine dyes containing pyrazolone moiety // *Chin. J. Chem.* 2009. V. 27. P. 1359–1364. <https://doi.org/10.1002/cjoc.200990227>

- [14] *Isaad J.* Highly water soluble dyes based on pyrazolone derivatives of carbohydrates // *Tetrahedron*. 2013. V. 69. P. 2239–2250.
<https://doi.org/10.1016/j.tet.2013.01.038>
- [15] *Shahinian E. G. H., Haiduc I., Sebe I.* Synthesis and characterization of new azo coumarin dyes // *UPB Sci. Bull.* 2011. V. 73. P. 154–60.
- [16] *Соколова Н. Б., Соловей Н. А., Макарова Е. Г.* Фотодеструкция ксантеновых, триарилметановых, тиазиновых и диазиновых красителей в присутствии азокрасителей тиофена в полимерных пленках // *ЖПХ*. 2014. Т. 87. № 11. С. 1680–1684 [*Sokolova N. B., Solovei N. A., Makarova E. G.* Photodegradation of xanthene, triarylmethane, thiazine, and diazine dyes in the presence of thiophene azo dyes in polymer films // *Russ. J. Appl. Chem.* 2014. V. 87. N 11. P. 1715–1718.
<https://doi.org/10.1134/S1070427214110238>].
-