

УДК 532.783

Н. В. Бумбина, О. Б. Аконова, Н. В. Усольцева,  
С. А. Знойко\*, В. Е. Майзлиш\*, Г. П. Шапошников\*

ПРОГНОЗ МЕЗОМОРФИЗМА МЕДНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
СМЕШАНОЗАМЕЩЕННЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ

PROGNOSIS OF MESOMORPHISM FOR HETEROSUBSTITUTED  
PHTHALOCYANINE COPPER COMPLEXES

Ивановский государственный университет, НИИ наноматериалов  
153025 Иваново, ул. Ермака, 39. E-mail: n\_bumbina@mail.ru

\*Ивановский государственный химико-технологический университет,  
НИИ макрогетероциклических соединений, 153000 Иваново, Шереметевский пр-т, 7

*Приведены данные по молекулярному дизайну новой серии производных фталоцианина. Выполнено построение моделей молекул 46 соединений и их оптимизация в программе HyperChem методом ММ<sup>+</sup>, осуществлен прогноз мезоморфизма, характерного для дискотических мезогенов. Установлено, что по прогнозу лишь 12 соединений из 46 могут проявлять термотропный мезоморфизм колончатого или нематического типа. Для 43 соединений результаты прогноза соотнесены с ранее опубликованными экспериментальными данными. Обнаружено соответствие прогноза и эксперимента для 37 соединений из 43 известных с учетом возможного проявления латентного мезоморфизма. Таким образом, достоверность прогноза составляет 86 %.*

**Ключевые слова:** мезоген, производные фталоцианина, моделирование, прогноз мезоморфизма, молекулярные параметры.

*The data on the molecular design of novel series of phthalocyanine derivatives are presented. Modeling of 46 compounds and their optimization were carried out in the HyperChem program using MM<sup>+</sup> method. The prognosis of mesomorphism characteristic of discotic mesogens was performed. It was determined by the prognosis that only 12 of the 46 compounds showed thermotropic mesomorphism. For 43 compounds the prognosis results were correlated with the published experimental data. Correspondence of prognosis with experimental data was observed for 37 of 43 known compounds considering possible manifestation of latent mesomorphism. Thus, the accuracy of prediction in this case is 86 %.*

**Key words:** mesogen, phthalocyanine derivatives, simulation, mesomorphism prognosis, molecular parameters.

В настоящее время создание новых жидкокристаллических (ЖК) материалов является актуальным направлением в области химии. Одними из наиболее перспективных объектов для этого служат производные фталоцианина, которые нашли широкое применение во многих областях науки и техники [1—6]. Как известно [5, 7, 8], в литературе преобладают данные о фталоцианинах, имеющих протяженные алифатические заместители, и гораздо меньше сведений о фталоцианинах, содержащих объемные заместители. Но такие макроциклы являются перспективными материалами для применения в оптоэлектронике благодаря своей способности стекловаться [9, 10].

Необходимо отметить, что синтез ЖК-соединений, их выделение и очистка, а также непосредственное изучение ЖК-свойств сопряжены с рядом экспериментальных

трудностей. Альтернативным решением этой проблемы являются методы математического и компьютерного моделирования, которые позволяют получать интересные характеристики веществ, минуя трудоемкий синтез [11—14].

Ранее, на предмет прогнозирования колончатого двумерно-упорядоченного и нематического мезоморфизма у производных фталоцианина были изучены их однороднозамещенные [15] и смешанозамещенные никелевые комплексы [16].

Целью настоящей работы является установление применимости метода прогнозирования мезоморфизма, характерного для дискотических мезогенов (ДМ), с помощью расчета и анализа молекулярных параметров (МР) [8] к серии медных комплексов смешанозамещенных фталоцианинов (рис. 1), а также сравнение полученных результатов с экспериментальными данными [17, 18].

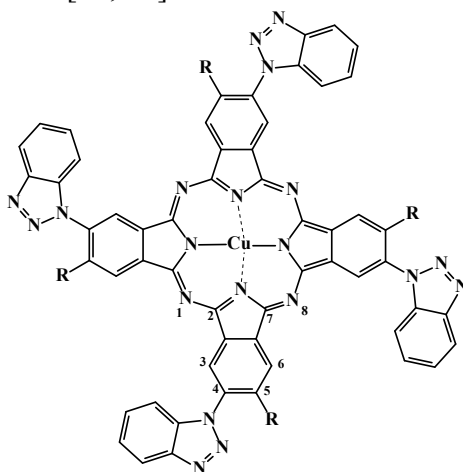


Рис. 1. Структурная формула производных фталоцианина

На рисунке 1 представлена структурная формула медных комплексов смешанозамещенных фталоцианинов, где в качестве одного из заместителей находятся бензотриазолильные фрагменты, а R — заместитель, природа которого варьируется, в зависимости от чего все исследуемые соединения можно разделить на четыре группы.

Первая группа состоит из четырех соединений (табл. 1).

Таблица 1

**Строение заместителя R в положении 5 первой группы**

R	H	OH	NH <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
№	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.4</b>

Вторую группу образуют двадцать шесть соединений, имеющих в качестве R замещенный фенильный фрагмент (табл. 2).

В третью группу входят девять соединений, в которых R — замещенный бифенильный фрагменты (табл. 3).

И, наконец, в четвертой группе представлены семь соединений, которые в качестве R имеют нафтокси- или гетероциклические фрагменты (табл. 4).

Синтез рассматриваемых комплексов был описан в работах [17—21].

Таблица 2

Строение заместителя R в положении 5 второй группы

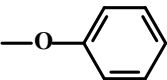
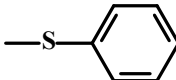
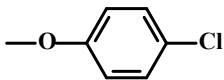
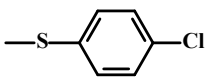
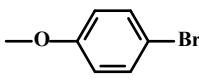
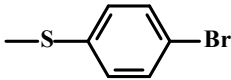
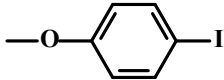
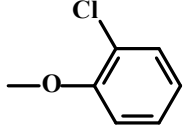
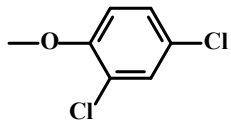
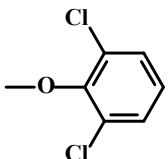
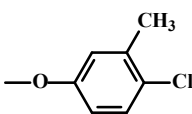
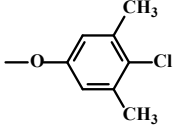
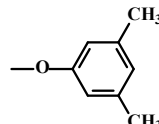
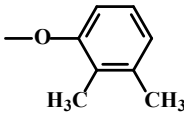
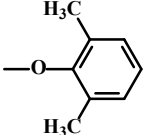
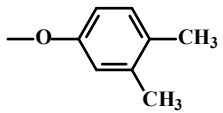
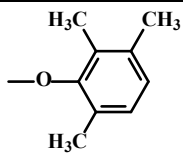
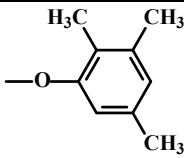
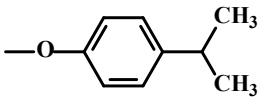
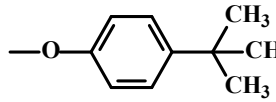
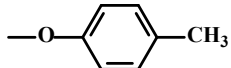
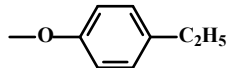
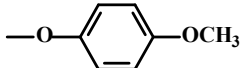
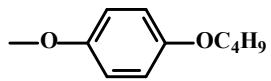
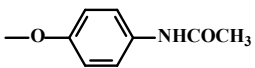

R				
№	2.1	2.2	2.3	2.4
R				
№	2.5	2.6	2.7	2.8
R				
№	2.9	2.10	2.11	2.12
R				
№	2.13	2.14	2.15	2.16
R				
№	2.17	2.18	2.19	2.20
R				
№	2.21	2.22	2.23	2.24
R				
№	2.25	2.26		

Таблица 3

## Строение заместителя R в положении 5 третьей группы

R			
№	3.1	3.2	3.3
R			
№	3.4	3.5	3.6
R			
№	3.7	3.8	3.9

Таблица 4

## Строение заместителя R в положении 5 четвертой группы

R				
№	4.1	4.2	4.3	4.4
R				
№	4.5	4.6	4.7	

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить построение и оптимизацию молекулярных моделей представленной серии соединений (1.1—1.4, 2.1—2.26, 3.1—3.9 и 4.1—4.7) и, используя их геометрические характеристики, а также ряд других показателей, провести расчет и анализ  $MP$  – безразмерных величин, извлекаемых из строения единичных молекул, путем сравнения их расчетных значений с классификационным рядом (1).

$$K = 2,0—8,5; \quad K_c = 1,0—2,6; \quad K_p = 0,2—0,7; \quad K_s = 0,25—1,0;$$

$$M_m = 0,2—0,8; \quad M_r = 0,15—0,8; \quad K_{ar} = 0,08—0,3$$

(1)

Параметр  $K$  характеризует анизометрию молекулы в целом, а параметры  $K_c$  и  $K_p$  — центра и периферии, соответственно. Параметр  $K_s$  показывает степень замещенности центрального фрагмента периферийными заместителями. Параметр  $M_m$  учитывает соотношение масс центральной и периферийной частей. Параметр  $M_r$  учитывает степень окружения центрального ядра молекулы — дискогена периферийными заместителями. Параметр  $K_{ar}$  предложен с целью учета плотности упаковки периферийных заместителей. Расчетные формулы для данных параметров, а также их применение для прогнозирования мезоморфизма у различных соединений приведены в работах [22—33]. К достоинствам данного метода относятся простота использования, малые затраты машинного времени и высокая степень достоверности прогноза (70—90 % и выше).

Предварительное построение и оптимизация молекулярных моделей медных комплексов смешанозамещенных фталоцианинов, сочетающих на периферии фрагменты бензотриазола и различные группы (рис. 2), проведены в пакете программ *HyperChem* с применением метода молекулярной механики (ММ<sup>+</sup>).

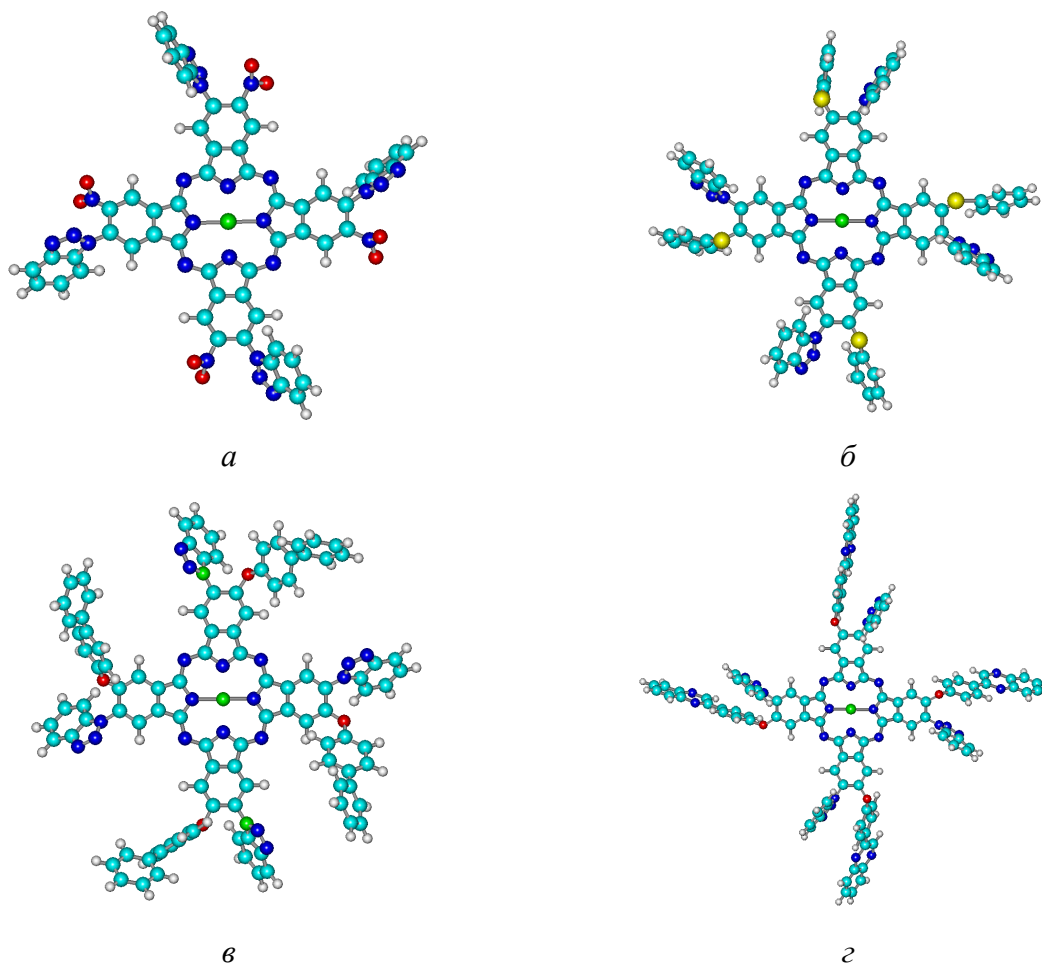


Рис. 2. Оптимизированные модели молекул соединений 1.4 (а), 2.2 (б), 3.3 (в) и 4.5 (г)

Из оптимизированных молекулярных моделей соединений извлекались их геометрические характеристики, которые были использованы нами для расчета  $MP$  (табл. 5—8). Прогнозирование способности проявления мезоморфизма данной серией соединений осуществлялось сравнением расчетных значений  $MP$  с классификацион-

ным рядом (1). Отклонение хотя бы одного из расчетных значений  $MP$  от предельных значений классификационного ряда (1) свидетельствует о неспособности сконструированного соединения к формированию мезофаз колончатых двумерно-упорядоченными или нематическими надмолекулярными структурами.

Таблица 5

## Молекулярные параметры и прогноз мезоморфизма соединений 1.1—1.4

№ соединения	$E_{\text{опт}}$ , ккал / моль	Молекулярный параметр						$P$	$\Xi$
		$M_m$	$M_r$	$K_p$	$K$	$K_c$	$K_{ar}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1.1</b>	96,07	1,21'	0,30	0,74*	2,96	1,00	0,17	–	–
<b>1.2</b>	97,93	1,33'	0,66	0,93'	3,49	1,24	0,16	–	–
<b>1.3</b>	107,99	1,30'	0,65	0,93'	2,70	1,37	0,17	–	–
<b>1.4</b>	109,96	1,59'	0,79	0,99'	2,99	1,32	0,15	–	–

Примечание:  $E_{\text{опт}}$  — энергия оптимизации,  $P$  — прогноз мезоморфизма, характерный для ДМ;  $\Xi$  — эксперимент, параметр  $K_s = 0,25$  для соединения **1.1**, для всех остальных — 0,5, штрихом отмечены значения  $MP$ , выходящие за границы классификационного ряда (1), звездочкой отмечены значения  $MP$ , близкие к граничным значениям классификационного ряда (1).

Данные таблицы 5 показывают, что соединения **1.1—1.4** по прогнозу не способны проявлять мезоморфизм, характерный для ДМ, что полностью согласуется с экспериментальными данными.

Таблица 6

## Молекулярные параметры и прогноз мезоморфизма соединений 2.1—2.26

№	$E_{\text{опт}}$ , ккал / моль	Молекулярный параметр						$P$	$\Xi$
		$M_m$	$M_r$	$K_p$	$K$	$K_c$	$K_{ar}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>2.1</b>	98,91	0,81*	0,40	0,91'	2,39	1,32	0,29	–	+
<b>2.2</b>	97,09	0,89*	0,45	0,91'	2,43	1,31	0,28	–	–
<b>2.3</b>	99,34	0,69	0,35	0,93'	2,61	1,36	0,28	–	–
<b>2.4</b>	95,14	0,76	0,38	0,88'	2,35	1,32	0,27	–	–
<b>2.5</b>	93,86	0,58	0,29	0,93'	2,68	1,33	0,28	–	–
<b>2.6</b>	95,21	0,63	0,32	0,87'	2,69	1,33	0,26	–	–
<b>2.7</b>	92,69	0,49	0,25	0,93'	2,25	1,33	0,28	–	–
<b>2.8</b>	96,31	0,68	0,34	0,93'	2,41	1,35	0,28	–	–
<b>2.9</b>	95,85	0,60	0,30	0,93'	2,43	1,33	0,28	–	–
<b>2.10</b>	97,46	0,60	0,30	0,92'	2,56	1,32	0,28	–	–
<b>2.11</b>	117,64	0,64	0,32	0,94'	2,28	1,35	0,31*	–	–
<b>2.12</b>	137,72	0,61	0,31	0,93'	2,45	1,31	0,35*	–	+
<b>2.13</b>	131,57	0,70	0,35	0,93'	2,51	1,33	0,35*	–	–
<b>2.14</b>	138,04	0,70	0,35	0,94'	2,57	1,36	0,35*	–	–

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.15	141,38	0,70	0,35	0,93'	2,71	1,32	0,35*	—	—
2.16	139,66	0,70	0,35	0,93'	2,32	1,36	0,35*	—	—
2.17	134,43	0,66	0,33	0,92'	2,54	1,31	0,39	—	—
2.18	101,77	0,66	0,33	0,93'	2,46	1,34	0,38	—	—
2.19	135,53	0,66	0,33	0,79*	2,07	1,33	0,31*	+/-	—
2.20	175,10	0,62	0,31	0,79*	2,06	1,32	0,34*	+/-	+
2.21	116,36	0,76	0,38	0,93'	2,23	1,33	0,31*	—	—
2.22	117,15	0,70	0,35	0,80'	2,17	1,35	0,28	—	—
2.23	119,06	0,70	0,35	0,66	2,58	1,33	0,25	+	—
2.24	154,92	0,63	0,31	0,50	2,29	1,31	0,18	+	—
2.25	111,63	0,62	0,31	0,67	2,09	1,32	0,23	+	—
2.26	106,39	0,66	0,33	0,91'	2,33	1,33	0,29	—	+

Примечание:  $E_{\text{опт}}$  — энергия оптимизации,  $P$  — прогноз мезоморфизма, характерный для ДМ; Э — эксперимент, параметр  $K_s = 0,5$  для всех соединений, штрихом отмечены значения  $MP$ , выходящие за границы классификационного ряда (1), звездочкой отмечены значения  $MP$ , близкие к граничным значениям классификационного ряда (1).

Из таблицы 6 следует, что лишь соединения 2.23—2.25 по прогнозу способны проявлять мезоморфизм, характерный для ДМ. Однако следует отметить, что для соединений 2.19 и 2.20 возможно проявление латентного (скрытого) мезоморфизма, т. к. отклонение параметров  $K_p$  и  $K_{ar}$  от классификационного ряда незначительно.

Таблица 7

Молекулярные параметры и прогноз мезоморфизма соединений 3.1—3.9

№	$E_{\text{опт}}$ , ккал / моль	Молекулярный параметр						$P$	Э
		$M_m$	$M_r$	$K_p$	$K$	$K_c$	$K_{ar}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.1	156,71	0,55	0,28	0,58	2,05	1,35	0,21	+	
3.2	151,96	0,48	0,24	0,53	2,93	1,32	0,19	+	
3.3	157,34	0,58	0,29	0,63	2,16	1,33	0,23	+	+
3.4	139,12	0,57	0,29	0,61	2,23	1,32	0,27	+	+
3.5	179,73	0,55	0,28	0,55	2,43	1,29	0,22	+	+
3.6	182,89	0,52	0,26	0,60	2,02	1,34	0,25	+	+
3.7	188,64	0,52	0,26	0,56	2,04	1,31	0,24	+	+
3.8	143,35	0,50	0,25	0,63	2,16	1,33	0,29	+	+
3.9	176,26	0,36	0,18	0,59	2,01	1,32	0,35*	+/-	

Примечание: Пустые ячейки колонки 10 — отсутствие экспериментальных данных  $E_{\text{опт}}$  — энергия оптимизации,  $P$  — прогноз мезоморфизма, характерный для ДМ; Э — эксперимент, параметр  $K_s = 0,5$  для всех соединений, звездочкой отмечено значение  $MP$ , близкое к граничным значениям классификационного ряда (1).

Данные таблицы 7 свидетельствуют о том, что соединения **3.1—3.8** по прогнозу способны проявлять мезоморфизм, характерный для *ДМ*, а у соединения **3.9** возможно проявление латентного (скрытого) мезоморфизма. Такой прогноз по соединению **3.9** дается на основании незначительного отклонения от классификационного ряда (1) только одного параметра ( $K_{ar}$ ).

Таблица 8

Молекулярные параметры и прогноз мезоморфизма соединений **4.1—4.7**

№	E <sub>опт</sub> , ккал / моль	Молекулярный параметр						P	Э
		M <sub>m</sub>	M <sub>r</sub>	K <sub>p</sub>	K	K <sub>c</sub>	K <sub>ar</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>4.1</b>	63,57	0,64	0,32	0,77*	2,19	1,34	0,27	+/-	+
<b>4.2</b>	70,62	0,64	0,32	0,93'	2,72	1,33	0,35*	-	-
<b>4.3</b>	69,11	0,64	0,32	0,92'	2,76	1,32	0,34*	-	-
<b>4.4</b>	84,06	0,60	0,30	0,93'	2,81	1,37	0,37	-	-
<b>4.5</b>	103,58	0,48	0,24	0,50	2,87	1,33	0,18	+	+
<b>4.6</b>	186,89	0,60	0,30	0,74*	3,75	1,10	0,29	+/-	-
<b>4.7</b>	166,25	0,60	0,30	0,82'	2,62	1,10	0,33*	-	-

Примечание: E<sub>опт</sub> — энергия оптимизации, P — прогноз мезоморфизма, характерный для *ДМ*; Э — эксперимент, параметр K<sub>s</sub> = 0,5 для всех соединений, штрихом отмечены значения *MP*, выходящие за границы классификационного ряда (1), звездочкой отмечены значения *MP*, близкие к граничным значениям классификационного ряда (1).

Из таблицы 8 следует, что лишь одно соединение **4.5** по прогнозу способно проявлять мезоморфизм, характерный для *ДМ*. Кроме того у соединений **4.1** и **4.6** возможно проявление латентного (скрытого) мезоморфизма, т. к. наблюдается незначительное отклонение параметра  $K_p$  от классификационного ряда.

## Обсуждение результатов

Проведенный расчет и анализ *MP* медных комплексов смешанозамещенного фталоцианина (**1.1—1.4**, **2.1—2.26**, **3.1—3.9** и **4.1—4.7**) показал, что по прогнозу лишь двенадцать (**2.23—2.25**, **3.1—3.8** и **4.5**) из сорока шести соединений могут проявлять мезоморфизм, характерный для *ДМ* и у пяти соединений (**2.19**, **2.20**, **3.9**, **4.1** и **4.6**) возможно формирование латентной мезофазы.

Из исследуемых серий соединений авторами работ [17, 18] изучен мезоморфизм сорока трех производных фталоцианина. Из них по данным [17, 18] только двенадцать соединений (**2.1**, **2.12**, **2.20**, **2.26**, **3.3—3.8**, **4.1** и **4.5**) проявляют термотропной мезоморфизм. Для соединений **3.1**, **3.2** и **3.9** мезоморфизм не изучался. Остальные тридцать одно соединение по экспериментальным сведениям [17, 18] обнаруживают отсутствие термотропного мезоморфизма. Эти данные находят хорошее согласие с результатами прогноза: для семи производных фталоцианина (**3.3—3.8**, **4.5**) прогноз положительный; для четырех соединений (**2.19**, **2.20**, **4.1** и **4.6**) прогноз равновероятный, что соответствует 86 %-ной достоверности. Полученные данные находятся в рамках достоверности, используемого нами метода [8].



Из полученных по прогнозу данных можно также установить влияние введения различных заместителей в макроциклическое кольцо. Так, введение коротких донорных и акцепторных заместителей непосредственно во фталоцианиновый цикл (1.1—1.4) приводит к отрицательному прогнозу мезоморфизма для этой серии соединений (табл. 1, табл. 5).

Данные таблиц 2 (2.3—2.22) и 6 свидетельствуют о том, что введение донорных заместителей в периферию молекулы фталоцианина также является неблагоприятным фактором для формирования колончатых мезофаз.

Следует отметить, что введение в периферию фталоцианиновой молекулы бифенильных радикалов благоприятствует проявлению мезоморфизма, характерного для ДМ, в отличие от обратного эффекта, наблюдаемого от введения фенильных и гетероциклических фрагментов.

Таким образом, проведенные нами исследования указывают на возможность использования метода прогнозирования мезоморфизма с помощью молекулярных параметров для поиска ДМ среди металлсодержащих (M = Cu) смешанозамещенных производных фталоцианина.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-03-00481а.*

#### Список использованной литературы

1. Базанов М. И., Шишкина О. В., Майзлиш В. Е. и др. // Электрохимия. 1998. Т. 34, № 8. С. 912—916.
2. Шапошников Г. П., Майзлиш В. Е., Кулинич В. П., Воробьев Ю. Г., Исляйкин М. К. // Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. 2005. Т. 48, № 7. С. 22—31.
3. Вукоча В. В., Усольтцева Н. В., Ананьева Г. А., Шапошников Г. П., Майзлиш В. Е. // Изв. РАН. Сер. физ. 1998. Т. 62, № 8. С. 1647—1651.
4. Smirnova A. I., Maizlish V. E., Usoltseva N. V. et al. // Изв. АН. Сер. хим. 2000. № 1. С. 129—132.
5. Шапошников Г. П., Кулинич В. П., Майзлиш В. Е. Модифицированные фталоцианины и их структурные аналоги / под ред. О. И. Койфмана. М. : КРАСАНД, 2012. 480 с.
6. Вёрле Д., Шнурпфайль Г., Макаров С., Казарин А., Суворова О. // Макрогетероциклы. 2012. Т. 5, вып. 3. С. 191—202.
7. Усольтцева Н. В. // Успехи химии порфиринов / под ред. О. А. Голубчикова. СПб. : НИИ химии СПбГУ, 1999. Т. 2. С. 142—166.
8. Усольтцева Н. В., Аكوпова О. Б., Быкова В. В., Смирнова А. И., Пикин С. А. Жидкие кристаллы: дискотические мезогены / под ред. Н. В. Усольтцевой. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2004. 546 с.
9. Усольтцева Н. В., Быкова В. В., Шапошников Г. П. и др. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2001. Вып. 1. С. 74—83.
10. Усольтцева Н. В., Быкова В. В., Ананьева Г. А., Кудрик Е. В., Жарникова Н. В. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2002. Вып. 2. С. 7—12.
11. Berardi R., Orlandi S., Zannoni C. A. // Liq. Cryst. 2005. Vol. 32, № 11. P. 1427—1436.
12. Шестакова Р. Г., Просочкина Т. Р., Токунова Э. Ф., Тюрина Л. А., Кантор Е. А. // Журн. общ. химии. 2006. Т. 76, вып. 4. С. 648—653.
13. Miglioli I., Muccioli L., Orlandi S., Ricci M., Berardi R., Zannoni C. A. // Theor. Chem. Acc. 2007. Vol. 118. P. 203—210.
14. Лукьянов И. Ю., Соцкий В. В., Быкова В. В., Усольтцева Н. В. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2011. Вып. 3. С. 84—89.
15. Аكوпова О. Б. Закономерности связи молекулярного строения дискотических соединений с проявлением термотропного мезоморфизма : Дисс. ... д-ра хим. наук. Иваново, 2008. Т. 1. 502 с.

16. Бумбина Н. В., Аكوпова О. Б., Знойко С. А. и др. // Сб. науч. тр. SWorld : матер. междунар. научно-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2012». Одесса, Черноморье, 2012. Т. 44, вып. 4. С. 64—68.
17. Знойко С. А., Майзлиш В. Е., Шапошников Г. П., Быкова В. В., Усольцева Н. В. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2011. Вып. 4. С. 69—79.
18. Знойко С. А., Майзлиш В. Е., Шапошников Г. П., Абрамов И. Г. // Изв. вузов. Сер. хим. и хим. технол. 2012. Т. 55, № 12. С. 13—25.
19. Знойко С. А., Майзлиш В. Е., Шапошников Г. П. и др. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2009. Вып. 1. С. 24—32.
20. Знойко С. А., Майзлиш В. Е., Шапошников Г. П. и др. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2009. Вып. 3. С. 36—47.
21. Znoyko S. A., Maizkish V. E., Shaposhnikov G. P., Filimonov S. N., Abramov I. G. // Journal of Porphyrins and Phthalocyanines. 2008. Т. 12, № 3—6. С. 798.
22. Аكوпова О. Б., Зданович С. А., Аковов А. А., Котович Л. Н., Усольцева Н. В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1997. Т. 61, № 3. С. 624—630.
23. Аكوпова О. Б., Зданович С. А., Аковов Д. А. и др. // ЖСХ. 2001. Т. 42, № 1. С. 52—61.
24. Akopova O., Zdanovich S., Zemtsova O., Usol'tseva N. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2001. Vol. 364. P. 611—623.
25. Фролова Т. В., Аكوпова О. Б., Усольцева Н. В. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2008. Вып. 3. С. 23—28.
26. Аكوпова О. Б., Булавкова М. Г., Груздев М. С., Лукьянов И. Ю. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2010. Вып. 2. С. 46—57.
27. Аكوпова О. Б., Курбатова Е. В., Груздев М. С. // ЖОХ. 2010. Т. 80, вып. 2. С. 243—249.
28. Аكوпова О. Б., Булавкова М. Г., Шайкова А. Ю. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2011. Вып. 2. С. 18—26.
29. Бумбина Н. В., Аكوпова О. Б., Лукьянов И. Ю., Усольцева Н. В. // Сб. научн. трудов SWorld : матер. междунар. научно-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2011». Одесса, Черноморье, 2011. Т. 38, вып. 4. С. 40—43.
30. Аكوпова О. Б., Булавкова М. Г., Груздев М. С., Фролова Т. В. // ЖОХ. 2011. Т. 81, вып. 4. С. 622—629.
31. Аكوпова О. Б., Лапшин В. Б., Терентьев В. В., Богданов В. С. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2010. Вып. 2. С. 46—57.
32. Бумбина Н. В., Лукьянов И. Ю., Аكوпова О. Б., Усольцева Н. В. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. Вып. 3. С. 31—36.
33. Аكوпова О. Б., Пестов С. М. // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. Вып. 4. С. 20—33.

Поступила в редакцию 21.06.2013 г.