

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшекласников
по политехническим, естественным, математическим дисциплинам
для учащихся 9-11 классов

Химия

**Исследование взаимодействия 1-(4-бромфенил)-4-
бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона с
1-(2,4-диаминофенил)-
1,2,3-бензотриазолом**

Каменских Данил Павлович
Пикулев Илья Сергеевич
11 класс, МБОУ «Лицей №1», г.Пермь

Бердников Роман Александрович,
Учитель химии МБОУ "Лицей №1" г. Перми

Пермь. 2018.

Содержание

1. Введение.	3
Цели и задачи	4
2. Обзор литературы	5
2.1. Методы синтеза 1Н-пиррол-2,3-дионов.....	5
2.2 Взаимодействие 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1Н-пиррол-2,3- дионов с бинуклеофильными реагентами.	6
2.2.1. Взаимодействие с моноклеофильными реагентами.	6
2.2.2. Взаимодействие с бинуклеофильными реагентами.	7
2.2. Структура, синтез и свойства 1,2,3-бензотриазолов.....	10
3. Теоретическая часть.....	12
3.1. Синтез 1-(2,4-динитрофенил)-1,2,3-бензотриазола.	12
3.2. Синтез 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазола.	16
3.3 Синтез 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1Н-пиррол-2,3- диона.....	16
3.4. Взаимодействие 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1Н- пиррол-2,3-диона с 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазолом.	18
4. Методики синтезов.	20
Выводы	22
Список литературы	23
Приложение 1	25

1. Введение.

На основе карбонильных производных гетероциклов - пиррол-2,3-дионон, фуран-2,3-дионон, тиазолин-4,5-дионон и их конденсированных аналогов - в настоящее время разработаны удобные методы синтеза различных классов гетероциклических соединений. Направление нуклеофильных превращений этих диоксогетероциклов, содержащих как минимум три электрофильных центра, разнообразно и значительно зависит от влияния заместителей в пирролдионовом (фурандионовом) и природы нуклеофильного реагента.

1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазол содержит три потенциальных нуклеофильных центра (2 аминогруппы и β -СН атом), следовательно, теоретически возможно несколько вариантов протекания реакции между 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазолом и 1-(4-бром-фенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионон.

Цели и задачи

Цель:

Исследовать взаимодействие между 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазолом и 1-(4-бром-фенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионом

Задачи:

- 1) Синтезировать 1-(2,4-динитрофенил)-1,2,3-бензотриазол.
- 2) Синтезировать 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дион.
- 3) Провести реакцию между 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионом и 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазолом.
- 4) Исследовать полученные соединения методами ИК- ЯМР-спектроскопии и методами квантовой химии.

2. Обзор литературы

2.1. Методы синтеза 1Н-пиррол-2,3-дионов.

Методы синтеза 2,3-дигидро-2,3-пирролдионов можно условно разделить на две группы: 1) методы, связанные с формированием пиррольного цикла в ходе синтеза пирролдиона; 2) методы, связанные с модификацией уже имеющегося пиррольного цикла. Среди первой группы методов наиболее распространенным является реакция енаминов с дихлорангидридом щавелевой кислоты (схема 1).

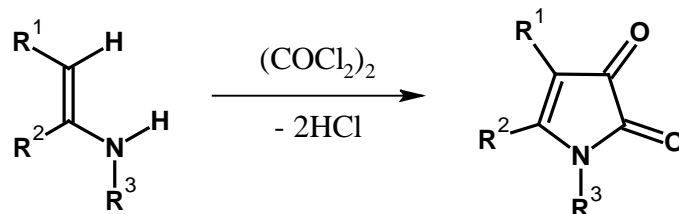


Схема 1

К этой же группе методов относятся гетероциклизации и рециклизации, приводящие к пирролдионам. Например, ариламида 2,4-диоксобутановых кислот, при нагревании в присутствии кислот в качестве катализатора циклизуется в 2,3-дигидро-2,3-пирролдионы (схема 2) [1].

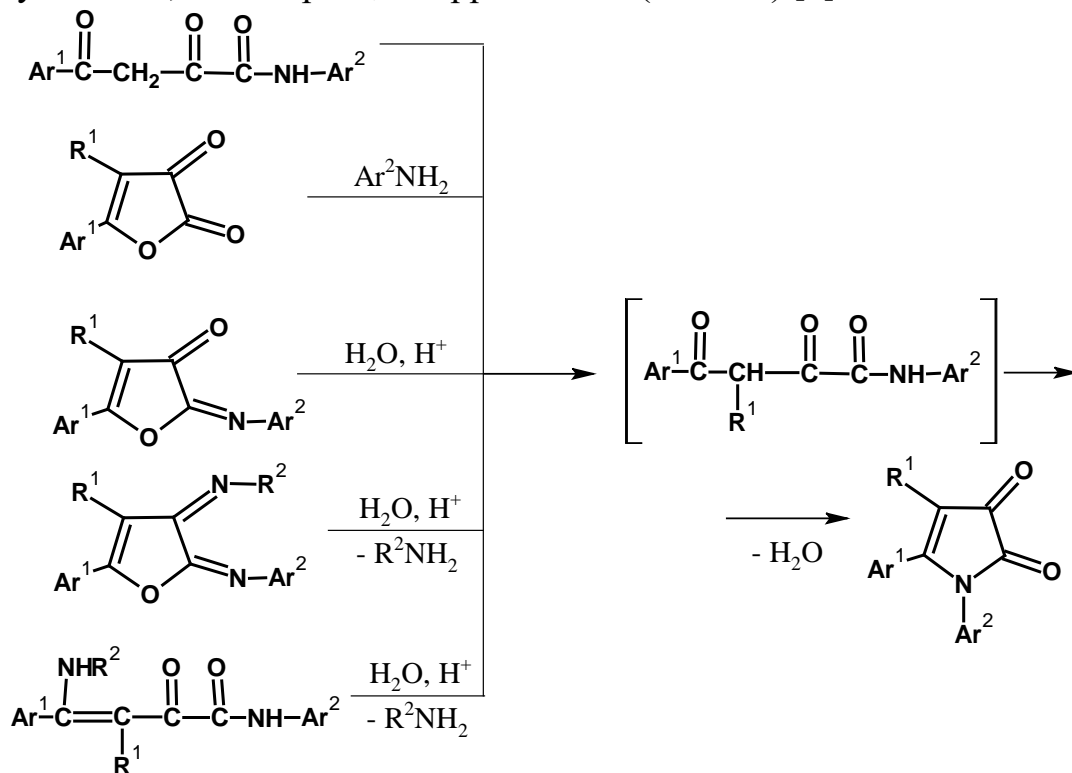


Схема 2

2.2 Взаимодействие 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1H-пиррол-2,3-дионов с бинуклеофильными реагентами.

Согласно данным квантово-химических расчетов, выполненных в приближении МПДП с помощью комплекса программ MNDO-90 [1], полные заряды на атомах и коэффициенты $2p_z$ атомных орбиталей имеют значения, представленные на схеме 3:

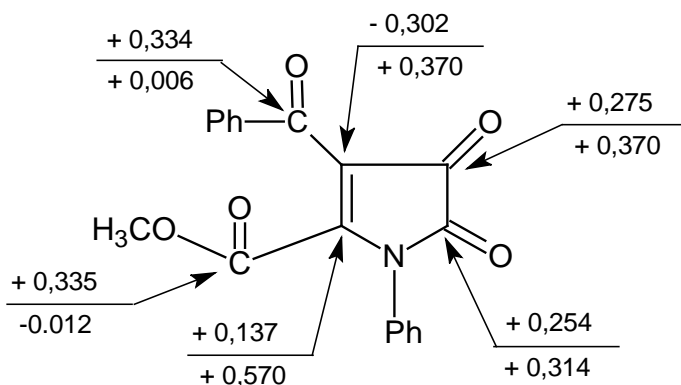


Схема 3

2.2.1. Взаимодействие с моонуклеофильными реагентами.

При взаимодействии 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1H-пиррол-2,3-дионов с моонуклеофильными реагентами происходит нуклеофильное присоединение к атому C^5 пирролдионного цикла [1] (схема 4):

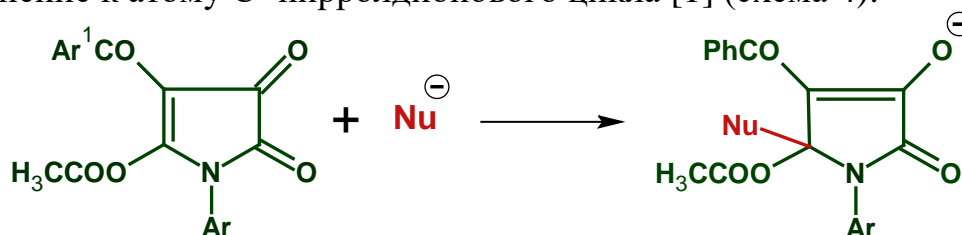


Схема 4

например, взаимодействие с водой и спиртами, а также аминами, приводит к замещенным пиррол-3-онам (схемы 5 и 6):

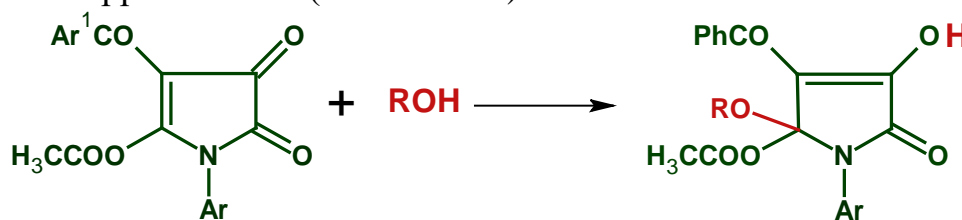


Схема 5

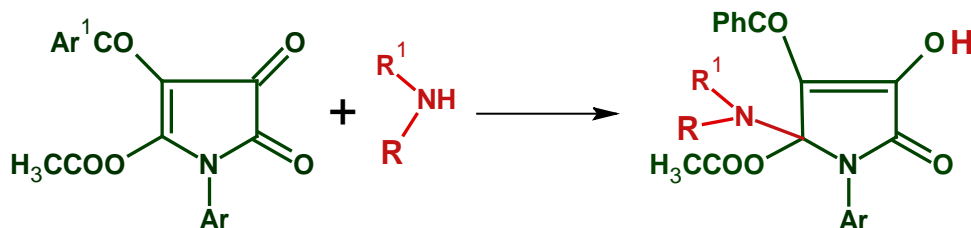
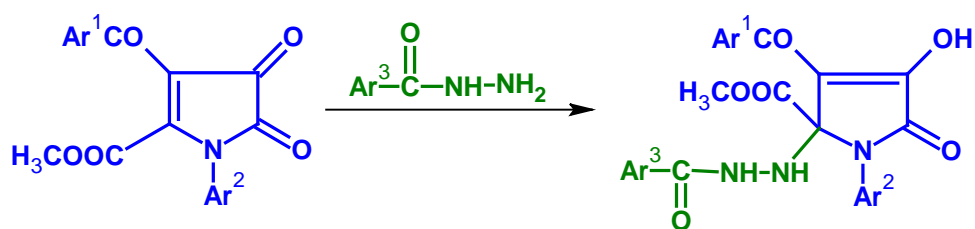
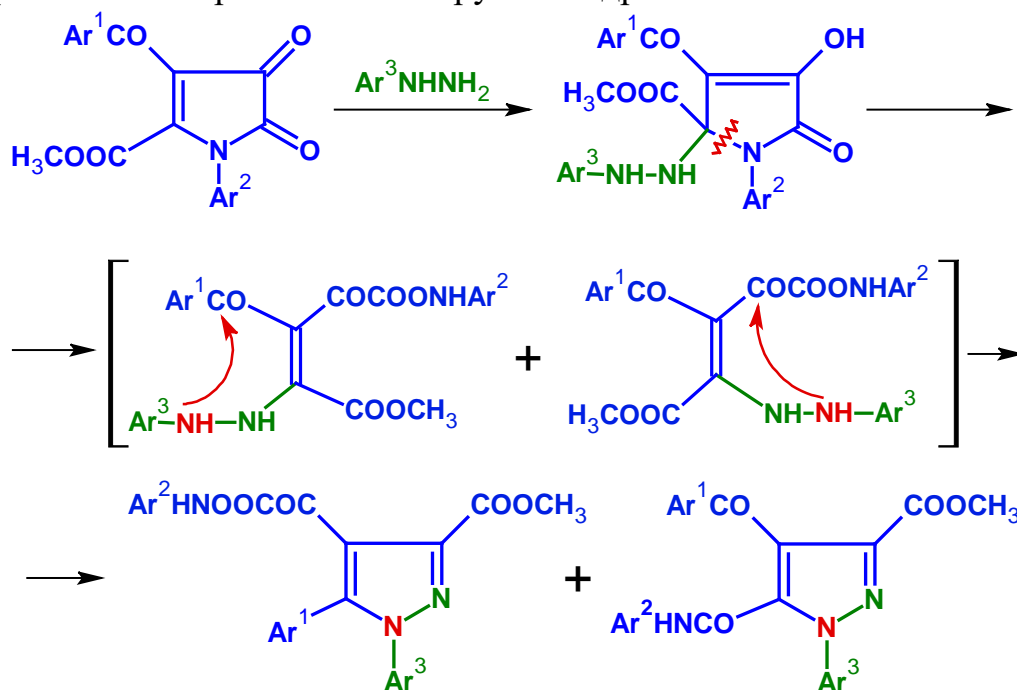


Схема 6

2.2.2. Взаимодействие с бинуклеофильными реагентами.

Взаимодействие 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с бинуклеофильными реагентами может протекать несколькими путями, наиболее распространенный из которых состоит из последовательного присоединения одного из двух нуклеофильных центров к атому C⁵ пирролдионного цикла с возможной атакой вторым нуклеофильным центром какого-либо электрофильного центра субстрата, чаще всего - метоксикарбонильной группы в положении 5 пирролдиона. Одним из определяющих факторов, влияющих на направление реакции, является нуклеофильность того или иного реакционного центра реагента. Так, в ходе реакции пирролдионов с арилгидразинами после «стандартного» присоединения наиболее нуклеофильной группы NH₂ к атому C⁵ пирролдиона происходит разрыв связи N-C⁵, атака вторичной аминогруппы и образование смеси пиразолов (схема 7), тогда как взаимодействие аналогичных субстратов с ароилгидразинами останавливается на стадии присоединения первичной аминогруппы к атому углерода C⁵ (схема 8). Очевидно, наличие электроноакцепторного ароильного радикала значительно понижает нуклеофильность вторичной аминогруппы гидразинов.



1,3-бинуклеофильные реагенты, содержащие активированную группу β -СН, часто реагируют с 5-метоксикарбонилпирролдионами в две стадии: 1) присоединение β -СН-группы к атому C^5 пирролдионного цикла; 2) внутримолекулярная атака вторым нуклеофильным центром метоксикарбонильной группы с замыканием цикла [2]. Например, при взаимодействии 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 3-анилинобут-2-еноатами образуются этил 1,7-диарил-4-ароил-3-гидрокси-8-метил-2,6-диоксо-1,7-дiazаспиро[4.4]нона-3,8-диен-9-карбоксилаты [3,4] (схема 9).

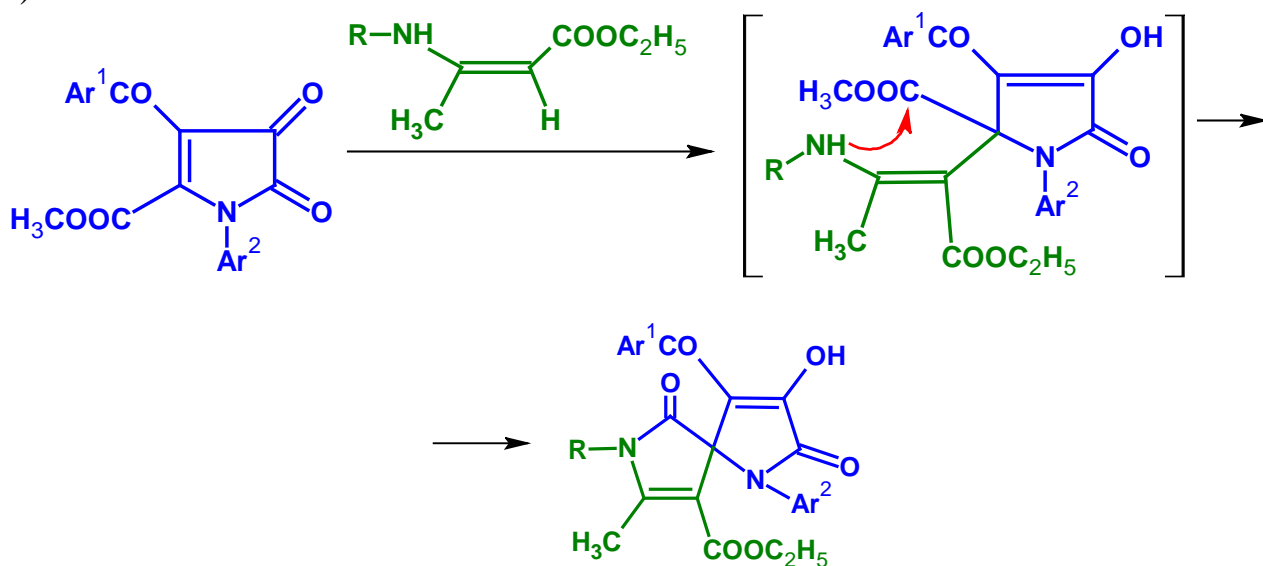


Схема 9

Двухчасовое кипячение смеси эквимольных количеств 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов и амидинотиомочевины в абсолютном диоксане приводит к образованию 1-(6-арил-9-ароил-8-гидрокси-4,7-диоксо-1,3,6-триазаспиро[4.4]нон-8-ен-2-илиден)тиомочевины (схема 10) [5, 6].

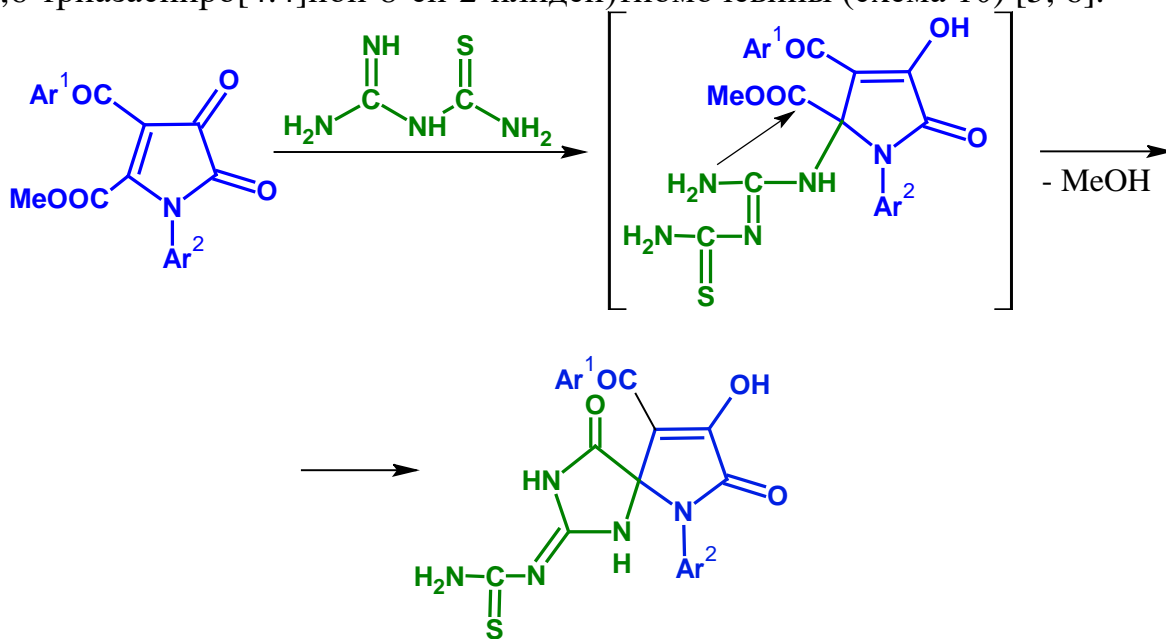


Схема 10

Схожим образом с пирролдионами такого типа реагируют и циклические енамины. К примеру, при кипячении эквимолярной смеси пирролдионов с 3-ариламино-1*H*-индено-1-онами в абсолютном толуоле в течение 1,5-2 ч., получены спиро{индено[1,2-б]пиррол-3,2'-пиррол}2,4,5'(1'*H*)-трионы (схема 11). Реакция осуществляется путем последовательной атаки группами β-СН и NH енаминофрагмента аминокинденонов атома С⁵ и метоксикарбонильной группы в положении 5 пирролдионов [7,8].

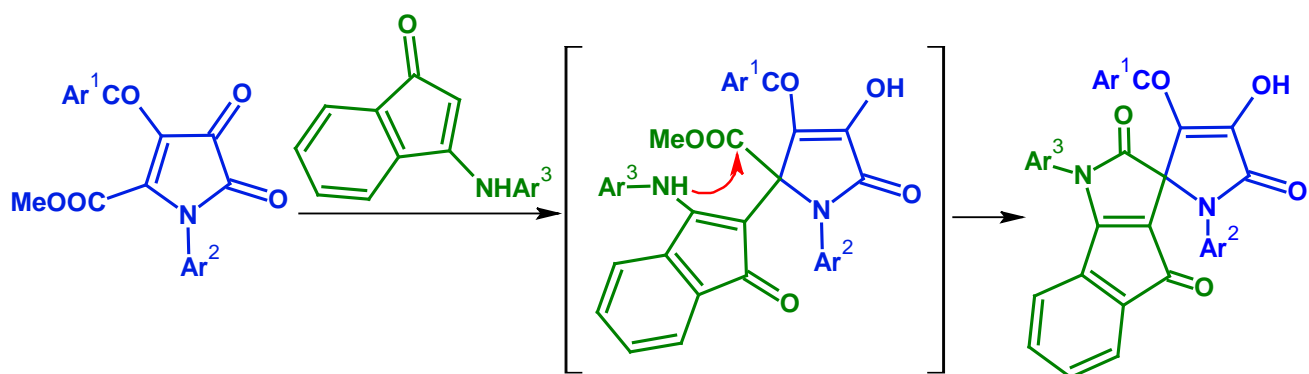


Схема 11

Для спириобисгетероциклических соединений, синтезированных на основе 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов, проведено исследование аналгетической активности (таб. 1 и 2) [9]. Активность ряда веществ превосходит препарат сравнения - аналгин.

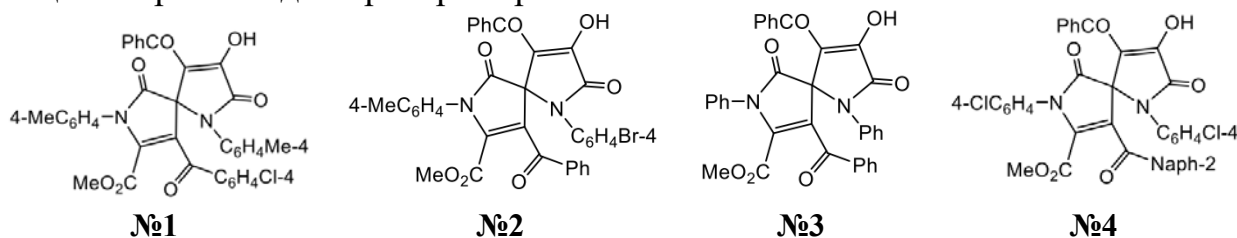


Таблица 1. Соединения, исследованные на биологическую активность

Соединение	Доза, мг/кг	Время оборонительного рефлекса через 2 часа
№1	50, в/б	23.40 ± 1.03
№2	50, в/б	19.80 ± 1.07
№3	50, в/б	20.06 ± 1.07
№4	50, в/б	21.00 ± 0.89
Контроль (2% крахм. слизь)	50, в/б	10.70 ± 1.62
Метамизол натрия	93 (ED ₅₀)	16.33 ± 3.02
Ибупрофен	4.98 (ED ₅₀)	24.60 ± 1.26

Таблица 2. Результаты исследования биологической активности спириобис-гетероциклических соединений

2.2. Структура, синтез и свойства 1,2,3-бензотриазолов.

1,2,3-бензотриазол представляет собой гетероциклическое ароматическое конденсированное соединение. В газовой фазе наиболее стабилен в форме 2*H*-таутомера (согласно данным ИК-спектроскопии, соотношение [2*H*]:[1*H*] ≈ 1.6:1), в растворах и твердом состоянии - в форме 1*H*-таутомера (схема 12) [10].

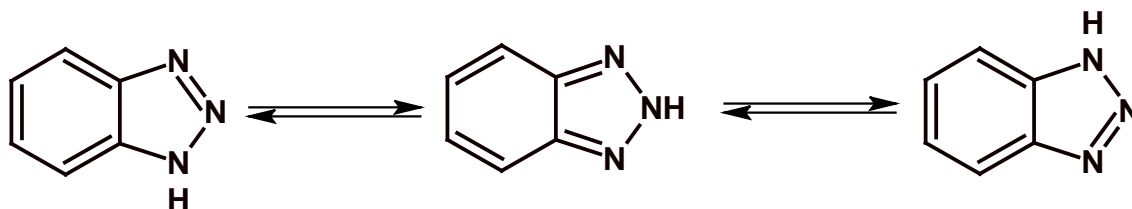


Схема 12

Основным методом синтеза бензотриазолов являются реакции конденсации и циклизации. Так, восстановительная циклизация 1,4-диметил-5-[(2-нитрофенил)дiazенил]-2-оксо-1,2-дигидропиридин-3-карбонитрила приводит к образованию замещенного 1,2,3-бензотриазола [11] (схема 13).

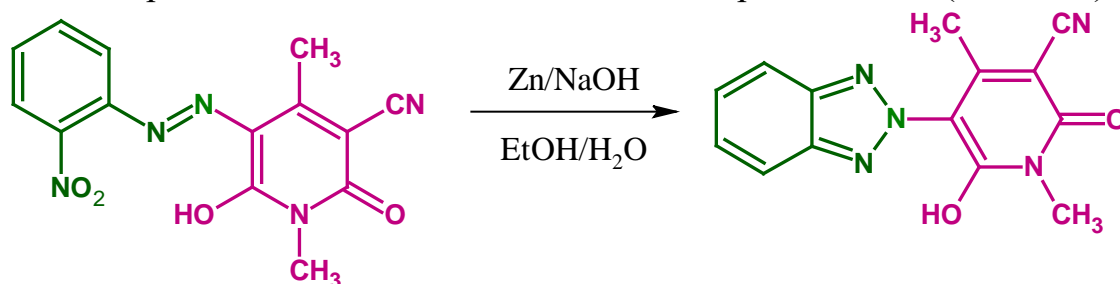


Схема 13

Полученное в реакции соединение предложено использовать в качестве светостабилизатора. Вещество может находиться в двух таутомерных формах, однако бензотриазольный цикл стабилен (схема 14).

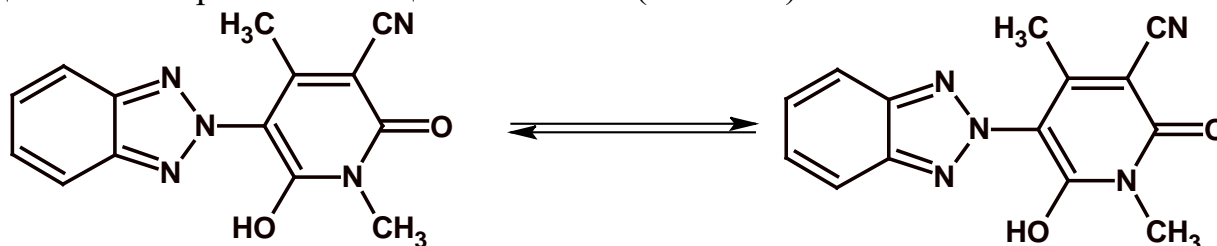


Схема 14

N-ариллирование 1,2,3-бензотриазола протекает одновременно с 1*H*- и 2*H*-таутомерными формами и приводит к образованию смеси продуктов. Так, действием на 1,2,3-бензотриазол *n*-нитрохлорбензола в присутствии поташа с выходом 30% получена смесь 1- и 2-(4-нитрофенил)-1,2,3-бензотриазолов (схема 15).

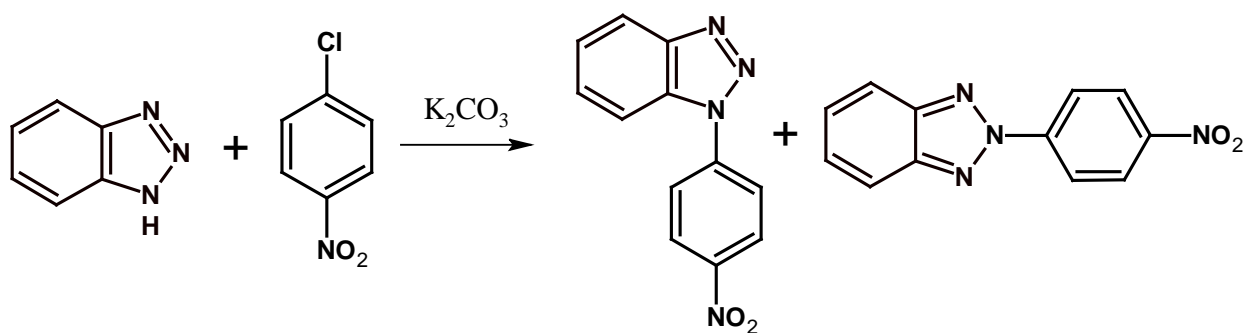


Схема 15

Аналогичным образом протекает взаимодействие 1,2,3-бензотриазола с 2,4-динитрохлорбензолом (схема 16) [12].

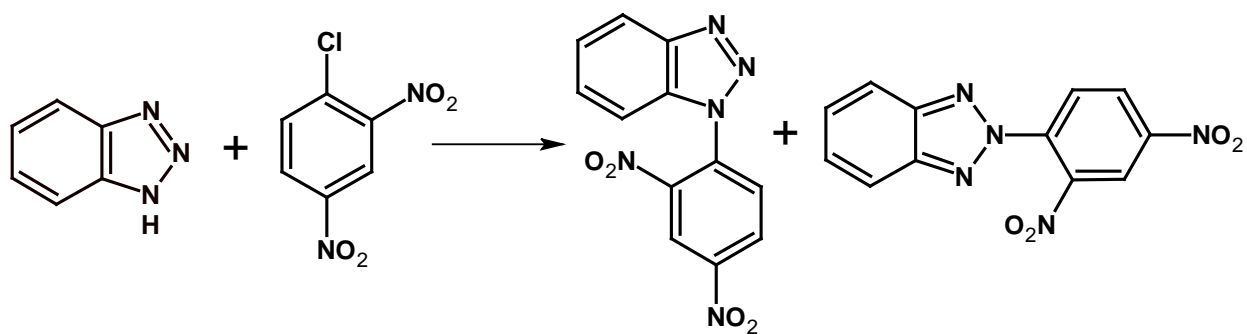


Схема 16

3. Теоретическая часть.

3.1. Синтез 1-(2,4-динитрофенил)-1,2,3-бензотриазола.

Согласно литературным данным (раздел 2.2), арилирование 1,2,3-бензотриазолов протекает одновременно по 1*H*- и 2*H*-таутомерным формам. Кипячением эквимольной смеси 1,2,3-бензотриазола **1** и 2,4-динитрохлорбензола **2** в этаноле в присутствии гидроксида натрия в качестве основания в течение 3 ч. получена смесь изомерных 1- и 2-(2,4-динитрофенил)-1,2,3-бензотриазолов **3** и **4** (схема 17).

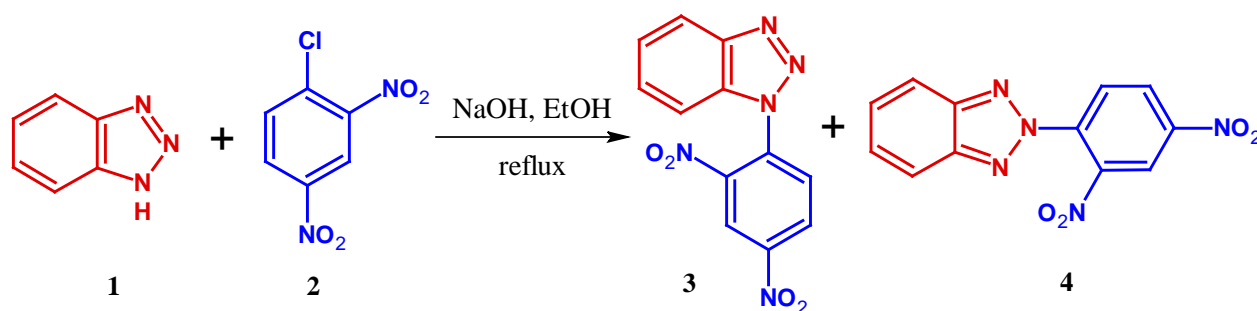


Схема 17

Полученная смесь исследована методом ЯМР-спектроскопии.

На спектре ЯМР ^1H (рис. 1) в интервале 7.55-9.15 м.д., соответствующем ароматическим протонам, даже при беглом ознакомлении заметен набор практически идентичных сигналов, различающихся лишь интенсивностью и незначительно - значениями химических сдвигов (таблица 2). Очевидно, это обстоятельство подтверждает образование смеси близких по строению ароматических изомерных соединений **3** и **4**. С целью сравнения спектр соединения **3** был симулирован в программе MestReNova (рис. 2). Сходимость реального спектра с симулированным мы посчитали удовлетворительной.

Спектр ЯМР ^{13}C (рис. 3) так же был снят и соотнесен с симулированным спектром соединения **3** (рис. 4). Соотнесение сигналов реального и симулированного спектров представлены в таблице 2.

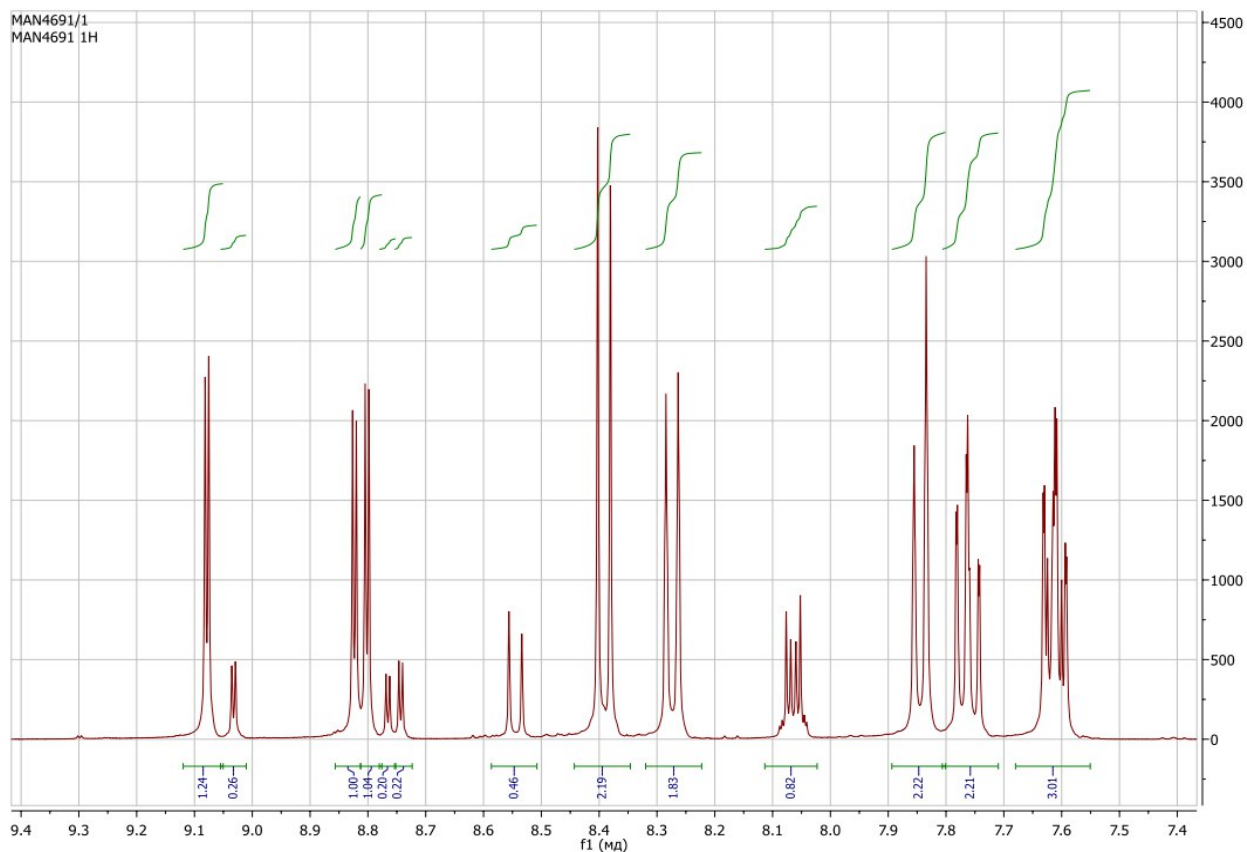


Рис. 1. Реальный спектр ЯМР ^1H продукта реакции 1,2,3-бензотриазола с 2,4-динитрохлорбензолом (предположительно, смесь соединений 3 и 4)

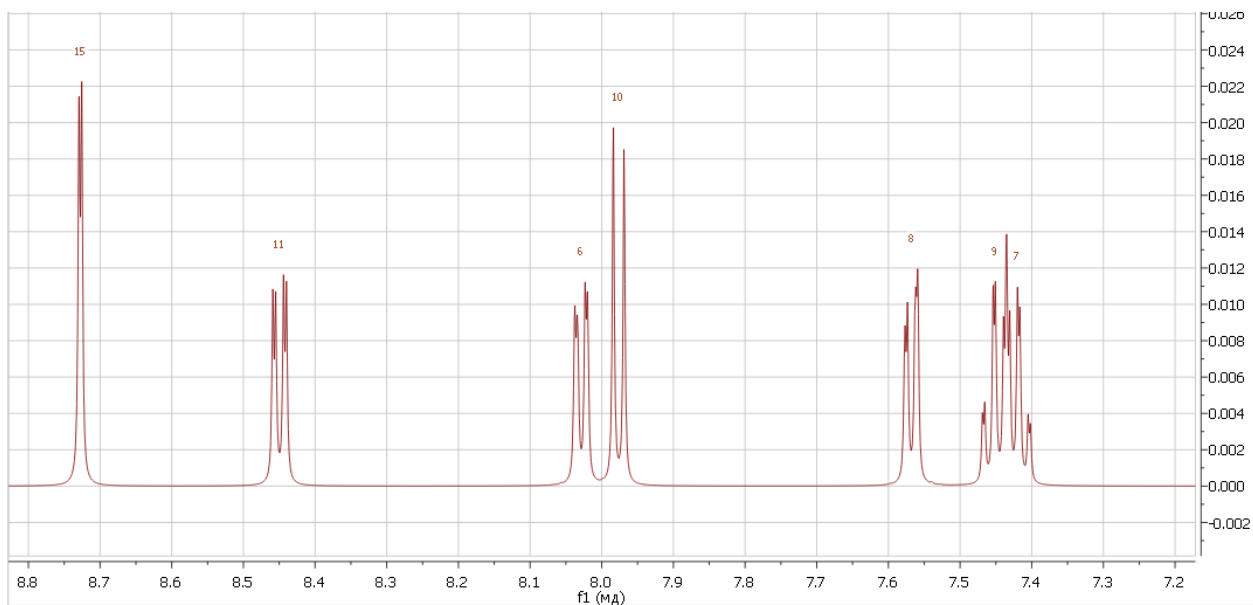


Рис. 2. Симулированный спектр ЯМР ^1H соединения 3

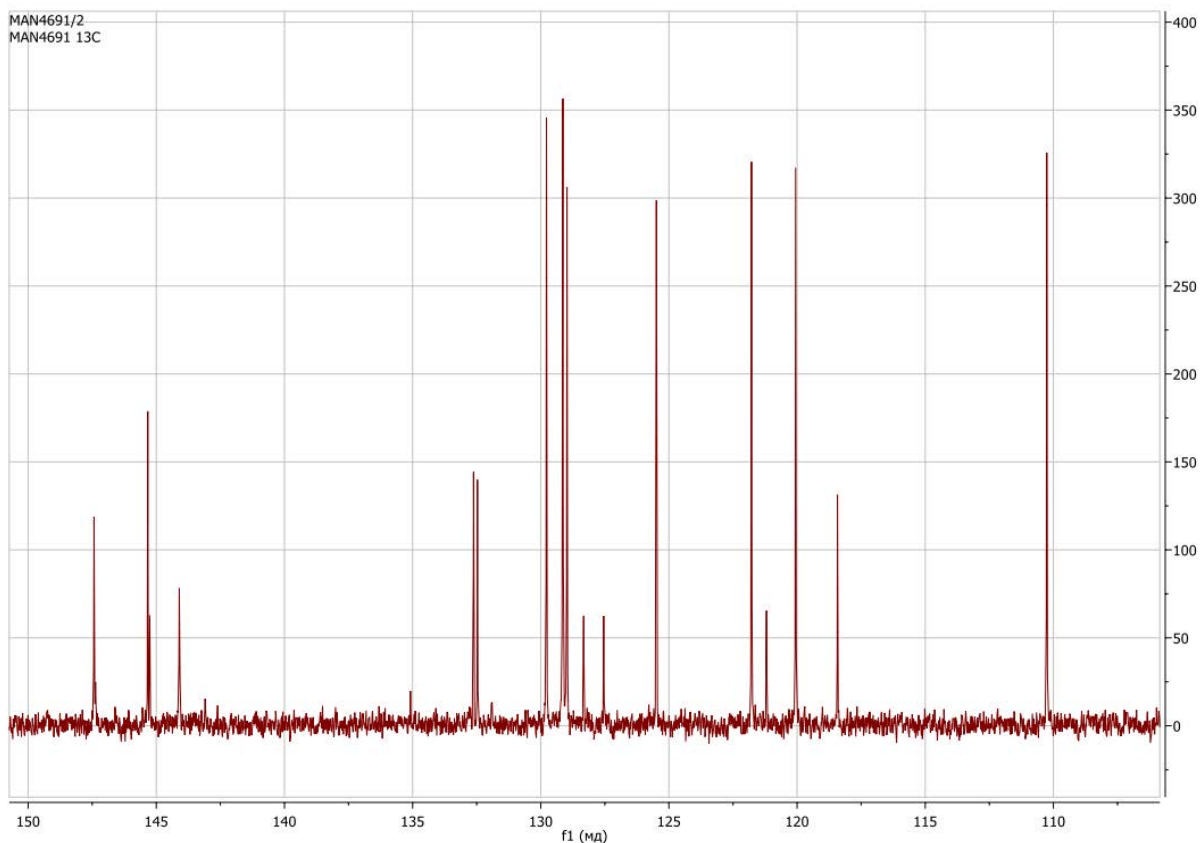


Рис. 3. Реальный спектр ЯМР ^{13}C продукта реакции 1,2,3-бензотриазола с 2,4-динитрохлорбензолом (предположительно, смесь соединений 3 и 4)

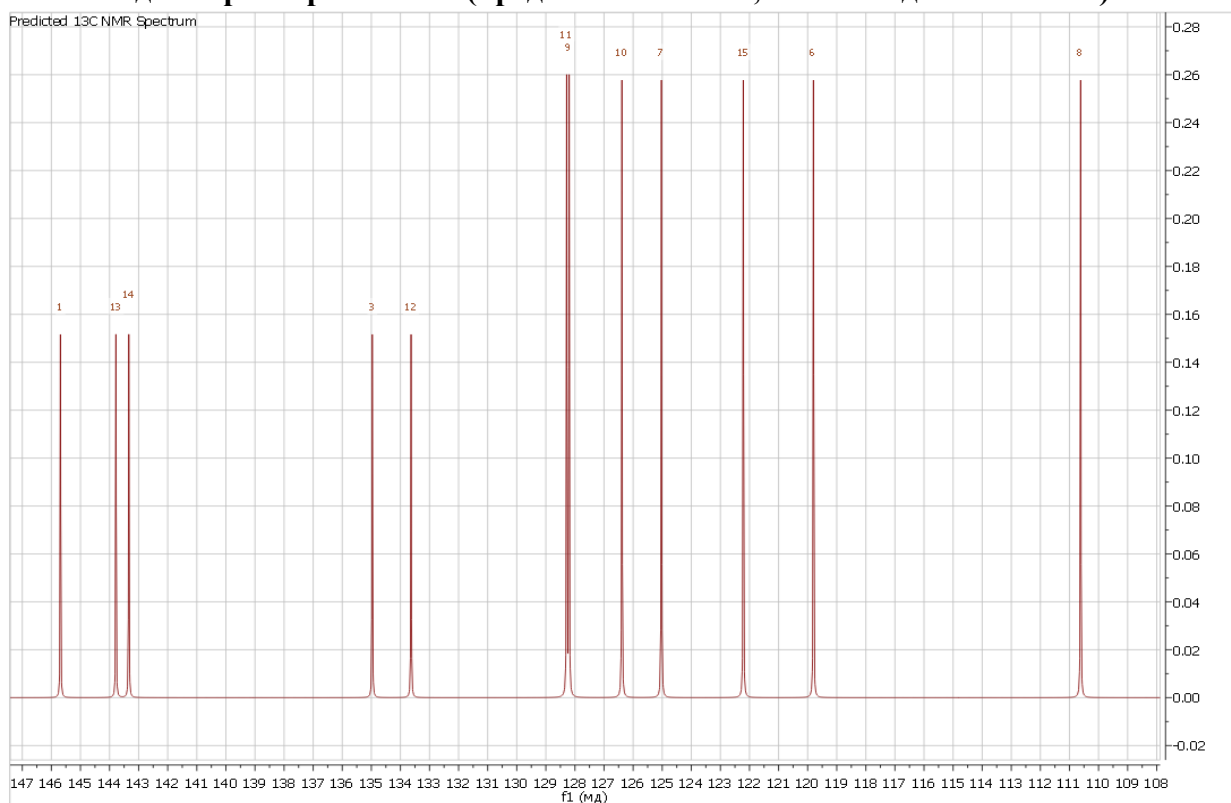


Рис. 4. Симулированный спектр ЯМР ^{13}C соединения 3

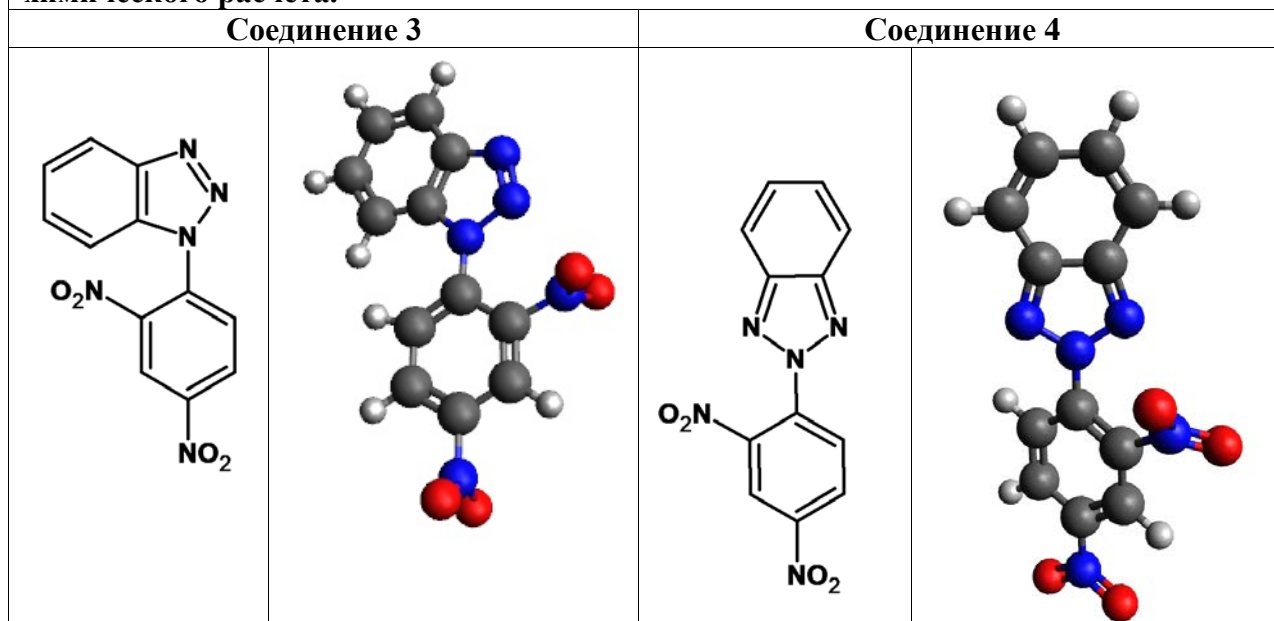
Сигнал в реальном спектре, м.д.	Сигнал в симулированном спектре, м.д.
147.43	147.78
145.33	145.65
144.04	143.32
-	134.97
132.60	133.63
132.42	-
129.78	-
129.14	128.28
128.98	128.20
128.30	-
127.53	-
-	126.39
125.46	125.03
-	122.21
121.78	119.80
121.16	-
120.06	-
118.43	-
110.26	110.62

Таблица 2. Соотнесение реального спектра смеси соединений 3 и 4 и симулированного спектров ЯМР ¹³C соединения 3

Методами квантовой химии были рассчитаны полная энергия (таблица 3) и оптимизированная геометрия (рис. 5) соединений 3 и 4. Использовалось приближение RM1 в пакете программ MORAC.

Таблица 3. Энергетические характеристики (total energy) соединений 3 и 4 согласно данным квантово-химического расчета.	
Соединение 3	Соединение 4
-3671.76283 эВ	- 3671.81279 эВ

Рис. 5. Оптимизированная геометрия соединений 3 и 4 согласно данным квантово-химического расчета.



Выделение 1*H*-изомера (соединение 3) осуществляли двукратной перекристаллизацией из уксусной кислоты.

3.2. Синтез 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазола.

Восстановлением соединения 3 хлоридом олова в кипящем этаноле в течение 2-3 ч. получили дигидрохлорид 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазола (схема 17). Чистый диамин выделяли действием концентрированного раствора гидроксида натрия с последующей экстракцией этилацетатом. Экстракт отгоняли, соединение 5 концентрировали на воздухе.

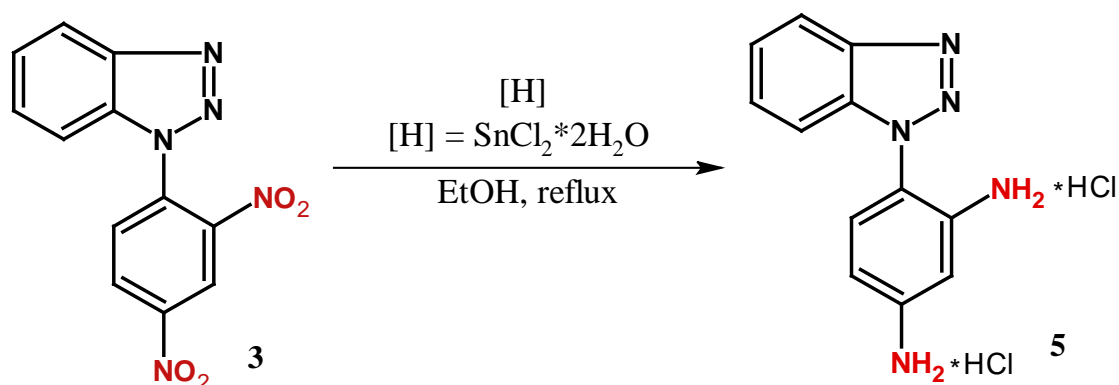


Схема 17

3.3 Синтез 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона

Несложным и весьма удобным методом синтеза 1*H*-пиррол-2,3-дионов является взаимодействие енаминов с дихлорангидридом щавелевой кислоты (оксалилхлоридом). С целью получения 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-

метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона синтезирован метиловый эфир бензоилпировиноградной кислоты **8** (схема 18). Он получен конденсацией Кляйзена ацетофенона **6** с диметилноксалатом **7** в присутствии метилата натрия.

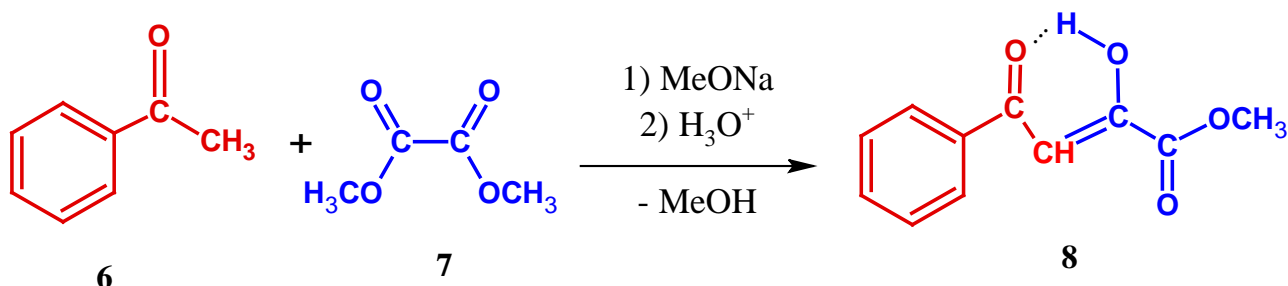


Схема 18

Взаимодействием метилового эфира бензоилпировиноградной кислоты **9** с 4-броманилином **10**, проводимом по известной методике [16] путем кипячения в толуоле с насадкой Дина-Старка в течение 2-3 ч (до окончания выделения воды) получен метиловый эфир 4-ароил-2-(4-бромфенил)амино-4-оксо-2-бутеновой кислоты **11** (схема 19).

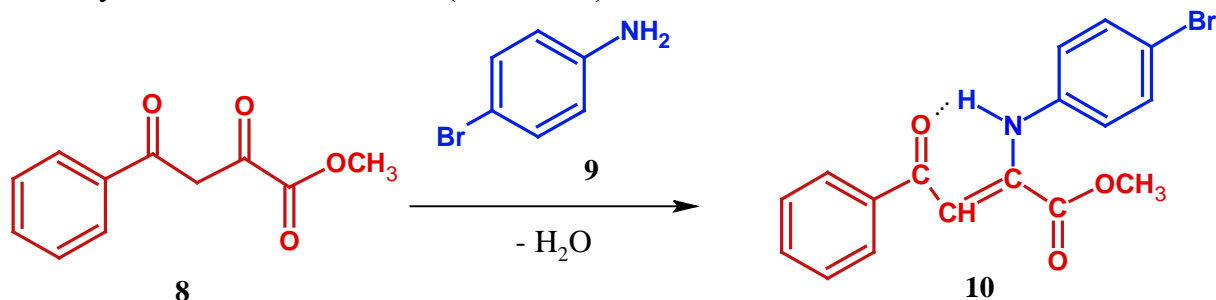


Схема 19

Взаимодействием синтезированного енамина **10** с дихлорангидридом щавелевой кислоты **11** (оксалилхлоридом), проводимом с помощью кипячения реагентов в абсолютном хлороформе в течение 1,5 часов, получен 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дион **12** (схема 20).

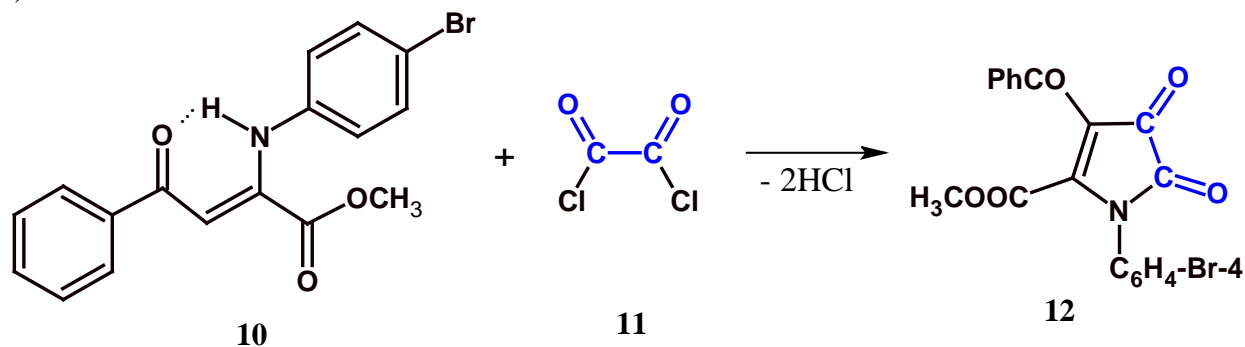


Схема 20

Нами произведен квантово-химический расчет 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона. Оптимизированная геометрия соединения представлена на рис. 6.

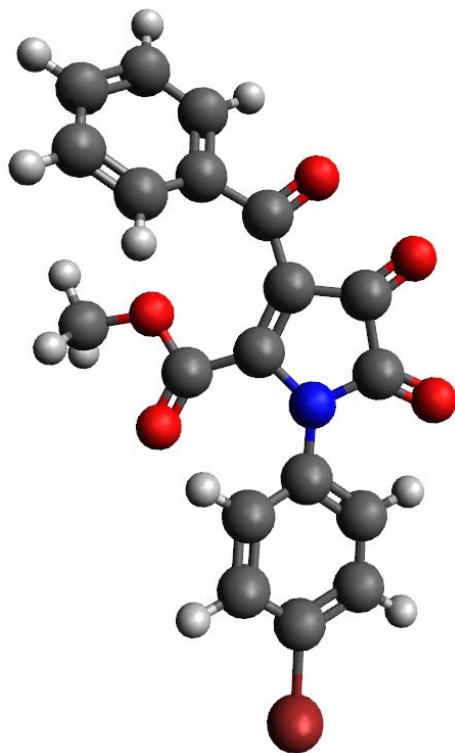


Рис. 6. Оптимизированная геометрия соединения **12**

3.4. Взаимодействие 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона с 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазолом.

При трёхчасовом кипячении эквимольной смеси 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона и 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазола в толуоле получено темно-коричневое твердое соединение **13**, хорошо растворимое в ДМСО и ДМФА, трудно растворимое в хлороформе, изопропиловом спирте и диоксане, нерастворимое в алканах и воде. Для дальнейшего исследования полученного соединения физико-химическими методами анализа требуется тщательная очистка вещества (ЯМР, ИК-спектроскопия), а также получение чистого монокристалла (рентгено-структурный анализ). С этой целью были опробованы следующие растворители и их смеси: изопропанол, ДМФА, ДМСО+хлороформ (1:1), толуол + хлороформ (1:1). Однако ни одна из попыток не привела к успеху, вследствие чего оказалось возможным лишь предположить структуру полученного соединения по косвенным данным, а именно: положительная проба (вишневое окрашивание) раствора соединения **13** свидетельствует о том, что в ходе реакции произошло нуклеофильное присоединение к атому С⁵ пирролдионного цикла. С учетом литературных данных нами составлена предположительная схема реакции (схема 21). В случае правильности показанной формулы не исключается дальнейшая нуклеофильная атака

свободной группы NH_2 на бензоильную карбонильную группу в положении 4 пиррольного цикла.

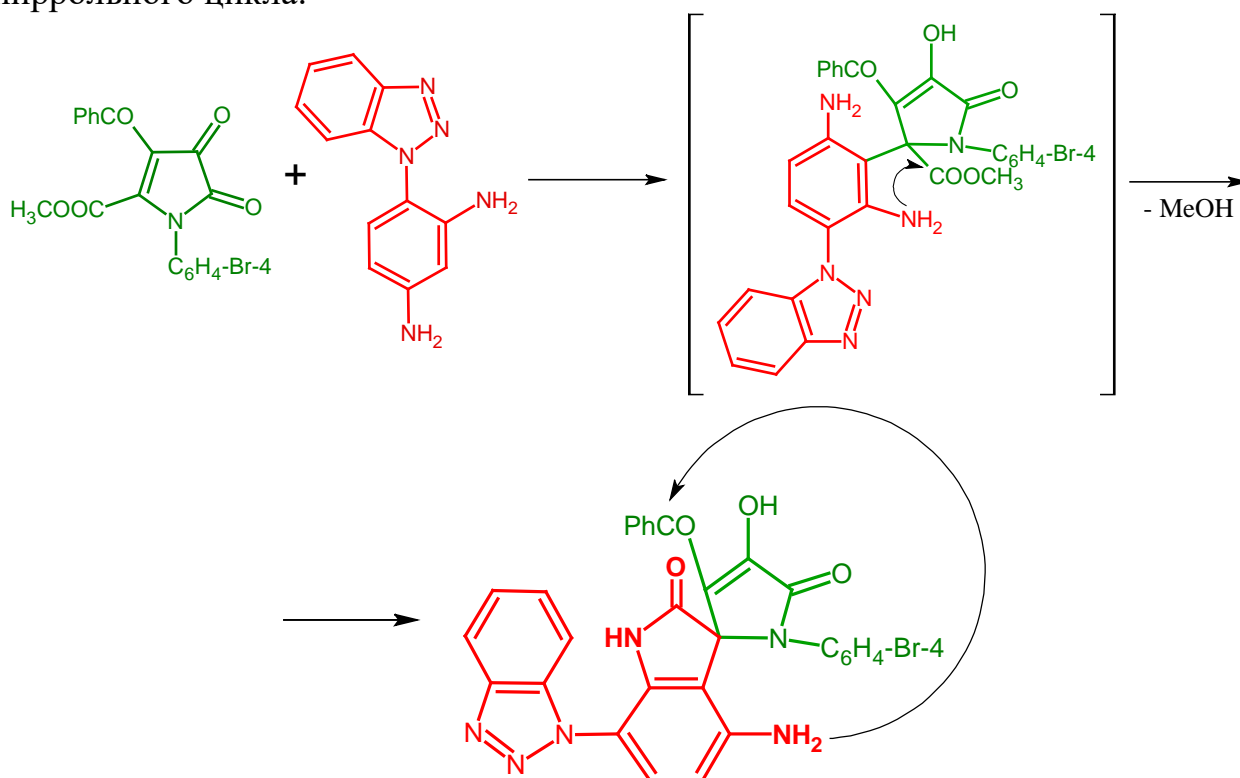
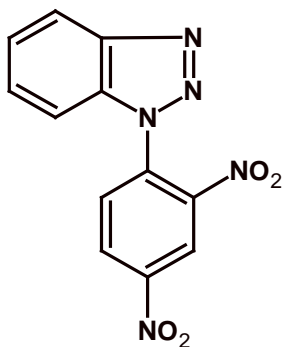


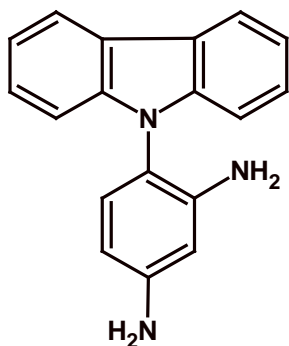
Схема 21

4. Методики синтезов.

ИК спектры полученных соединений снимали на спектрофотометре Spectrum Two в виде пасты в вазелиновом масле и на спектрофотометре Specord IR-75 в виде тонкой пленки между призмами из хлорида натрия. Спектры ЯМР ^1H записывали на спектрометре Bruker WP-400 в CDCl_3 и $\text{DMSO}-d_6$, внутренний стандарт - ТМС.

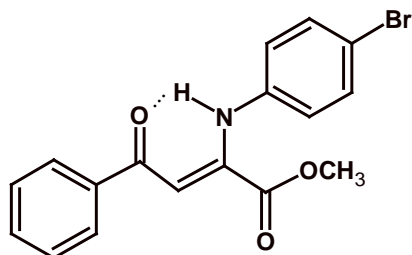
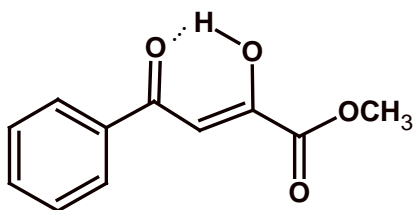


1-(2,4-динитрофенил)-1,2,3-бензотриазол (3) Раствор эквимольного количества 1,2,3-бензотриазола, 2,4-динитрохлорбензола и гидроксида натрия в этаноле кипятили с обратным холодильником в течение 2-3 часов. Этанол отгоняли, смесь охлаждали до комнатной температуры, выпавший темно-желтый осадок отфильтровывали и дважды перекристаллизовывали из уксусной кислоты.



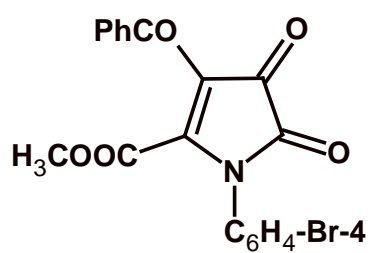
1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазол (5). Смесь 1-(2,4-динитрофенил)-1,2,3-бензотриазола и SnCl_2 (в избытке) в этиловом спирте кипятили в течение 1,5-2 ч. После этого смесь охлаждали до комнатной температуры, добавляли раствор NaOH до щелочной реакции среды и экстрагировали этилацетатом, органический слой объединяли и сушили на воздухе.

Метилловый эфир бензоилпировиноградной кислоты (8). К раствору 0.5 моль диметилхлоралата и 0.5 моль ацетофенона в 100 мл безводного метанола прилили при перемешивании раствор 0.5 моль метилата натрия, полученного растворением 0.5 моль натрия в 100 мл безводного метанола. Реакционная масса стала желтой и затвердела. На следующий день реакционную массу разбавили 500 мл воды и прилили при перемешивании 50 мл концентрированной соляной кислоты до сильноокислой реакции среды. Выпавший желтый осадок отфильтровали, высушили на воздухе и перекристаллизовали из петролейного эфира.



Метилловый эфир 2-(4-бромфенил-амино)-4-оксо-4-фенил-2-бутеновой кислоты (10). Раствор 0.05 моль метилового эфира бензоилпировиноградной кислоты и 0.05 моль *n*-броманилина в 100 мл толуола кипятили с насадкой Дина-Старка 2 ч. Растворитель отогнали

под вакуумом, остаток перекристаллизовали из метанола.



4-Бензоил-1-(4-бромфенил)-5-метоксикарбонил-1H-пиррол-2,3-дион (12). К раствору метил 2-(4-бромфениламино)-4-оксо-4-фенил-2-бутеноата в абсолютном хлороформе прилили раствор оксалилхлорида в абсолютном хлороформе, кипятили 1.5 ч, охладили, выпавший осадок отфильтровали.

Выводы

- Взаимодействие 1-(4-бромфенил)-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-диона с 1-(2,4-диаминофенил)-1,2,3-бензотриазолом предположительно не приводит к раскрытию пирролдионного цикла, происходит нуклеофильное присоединение к атому углерода С⁵ пирролдионного цикла, о чем говорит вишневое окрашивание со спиртовым раствором хлорида железа (III). Продукт реакции представляет собой темно-коричневое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в ДМФА и ДМСО.
- Исследованы ИК-, ЯМР ¹H- и ЯМР ¹³C-спектры ряда синтезированных соединений.
- Ряд синтезированных соединений исследован методами квантовой химии. Рассчитана оптимизированная геометрия молекул и их полная энергия.

Список литературы

1. 2,3-дигидро-2,3-пирролдионы / А.Н. Масливец, И.В. Машевская, Пермь, Перм. ун-т, 2005. - 126 с.
2. Железнова М.А., Силайчев П.С., Масливец А.Н. Нуклеофильные превращения моноциклических 1*H*-пиррол-2,3-дионов (обзор литературы) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2014, вып. 4
3. Банникова Ю.Н., Седегова Е.А., Халтурина В.В. и др. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LV. Взаимодействие метил 1-арил-3-ароил-4,5-диоксо-4,5-дигидро-1*H*-пиррол-2-карбоксилатов с этил 3-анилинобут-2-еноатами // Журнал органической химии. 2007. Т 43, вып. 9, С. 1343-1345.
4. Банникова Ю.Н., Масливец А.Н. Spiro-бис-гетероциклизация 5 - метоксикарбонил-2,3-дигидро-2,3-пирролдионов под действием ациклических енаминов // Журнал органической химии. Т. 41, вып. 11. С. 1748-1749.
5. Денисламова Е.С. Исследование взаимодействия 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 1,3-бинуклеофильными реагентами: диссертация кандидата химических наук / Е.С. Денисламова - Институт технической химии УрО РАН. - 2010.
6. Бурылова Н.Б. Исследование взаимодействия моноциклических 1*H*-пиррол-2,3-дионов с амидинотимочевинной / Н.Б. Бурылова, Е.С. Денисламова, А.Н. Масливец // 35 лет синтеза фурандионов: материалы регион. науч. конф. / Перм. гос. ун-т. - Пермь, 2008. - С. 6
7. Бубнов Н.В. Прямая Spiro-гетероциклизация метил 2,3-диоксо-1*H*-пиррол-5-карбоксилата при действии 3-амино-1*H*-инден-1-она / Н.В. Бубнов, Е.С. Денисламова, З.Г. Алиев, А.Н. Масливец // ЖОрХ. - 2012. - Т. 48. - №3. - С. 465-466
8. Бубнов В.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LXXXVI. Spiro-гетероциклизация 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов под действием 3-ариламино-1*H*-инден-1-онов. Кристаллическая и молекулярная структура 4'-гидрокси-3'-(2,4-диметилбензоил)-1,1'-дифенил-1*H*- Spiro[индено[1,2-*b*]пиррол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1'*H*)-триона / В. Бубнов, Е.С. Денисламова, П.С. Силайчев, П.А. Слепухин, А.Н. Масливец // ЖОрХ. - 2012. - Т. 48. - №5. - С. 697-700.
9. Дубовцев А.Ю. Взаимодействие 5-алкоксикарбонил-4-ацил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 1,2- и 1,3-бинуклеофильными реагентами: диссертация кандидата химических наук / А.Ю. Дубовцев - Институт технической химии УрО РАН. Пермь. - 2017.
10. Ларина Л.И. Спектроскопия ЯМР и строение замещенных азолов: диссертация доктора химических наук / Л.И. Ларина - Иркутский Институт Химии имени А.Е. Фаворского СО РАН. - 2003.
11. Гаврилец А.О., Ивлев А.А., Панькова Е.И., Колдаева Т.Ю., Перевалов В.П. Синтез новых потенциальных светостабилизаторов на основе 3-(2*H*-бензотриазол-2-ил)пиридина // Успехи в химии и химической технологии. Том XXV. №5. 2011.

12. Васин В.С. Синтез и физико-химические свойства производных 2-(2-гидроксифенил)-2*H*-бензотриазол-4-карбоновой кислоты: диссертация кандидата химических наук / В.С. Васин - Российский химико-технологический институт имени Д.И. Менделеева. - 2015.

Приложение 1

Благодарности

- Благодарим профессора кафедры органической химии ПГНИУ д.х.н. Сергея Николаевича Шурова и старшего преподавателя кафедры органической химии ПГНИУ Татьяну Владимировну Шаврину за съемку ИК-спектров.
- Благодарим к.х.н., старшего преподавателя кафедры неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности ПГНИУ Ивана Геннадьевича Мокрушина за съёмку ЯМР-спектров.
- Благодарим д.х.н. Масливца Андрея Николаевича и к.х.н. Степанову Екатерину Евгеньевну за консультативную помощь по методикам синтеза и установке программ для квантово-химического моделированию.
- Благодарим зав. лабораторией ПНИПУ Жеребцову Любовь Ивановну за предоставление органического практикума кафедры химии и биотехнологии ПНИПУ.



**Шаврина Татьяна
Владимировна**



**д.х.н. Шуров Сергей
Николаевич**



**к.х.н. Мокрушин Иван
Геннадьевич**



**к.х.н. Степанова
Екатерина Евгеньевна**



**д.х.н. Масливец Андрей
Николаевич**