

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра органической и биоорганической химии  
наименование кафедры

**ЦИКВАЛОН В СИНТЕЗЕ АЗОТ- И КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ  
ГЕТЕРОЦИКЛОВ**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 2 курса 251 группы

направления

04.04.01 «Химия»  
код и наименование направления

Института химии

наименование факультета

Рогова Данила Александровича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель  
профессор, д.х.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

дата, подпись

А. П. Кривенько  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:  
профессор, д.х.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

дата, подпись

А.Ю. Егорова  
инициалы, фамилия

Саратов 2023

## Введение

Циквалон (2,6-ди-(4-гидрокси-3-метокси-бензилиден)циклогексанон) является аналогом куркумина и проявляет широкий спектр биологической активности (цитотоксической по отношению к клеткам мышей и человека, пораженным лейкемией; антиоксидантной, гепатопротекторной, противовоспалительной, стимулирует образование и секрецию желчи).

Циквалон является эффективным субстратом для синтеза азот- и кислородсодержащих гетероциклов, таких как хиназолины, хроменкарбонитрилы, гидразоны и индазолы. Это объясняется тем, что синтез с использованием циквалона является простым и доступным, благодаря доступности необходимых реагентов.

Реакций циквалона с С- и N-нуклеофильными реагентами изучено очень мало. В работах осуществлены реакции циквалона с гидразином и динитрилом малоновой кислоты с образованием (4-(7-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3,3а,4,5,6,7-гексагидро-2Н-индазол-3-ил)-2-метоксифенола и 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрила), однако совершенно не изученными оставались реакции с гетариламинами (тиазол-2-амин, 3-амино-1,2,4-триазол и 4-амино-1,2,4-триазол), которые могли привести к синтезу соединений, включающих фармакофорные фрагменты, что и определило цель нашей работы.

Цель работы: синтез азот- и кислородсодержащих гетероциклов и гетероароматических систем на основе реакций циквалона с С- (малонитрил) и N-нуклеофильными реагентами (гидразин, 3-амино-1,2,4-триазол, 4-амино-1,2,4-триазол, 4-нитрофенилгидразин, 2,4-динитрофенилгидразин).

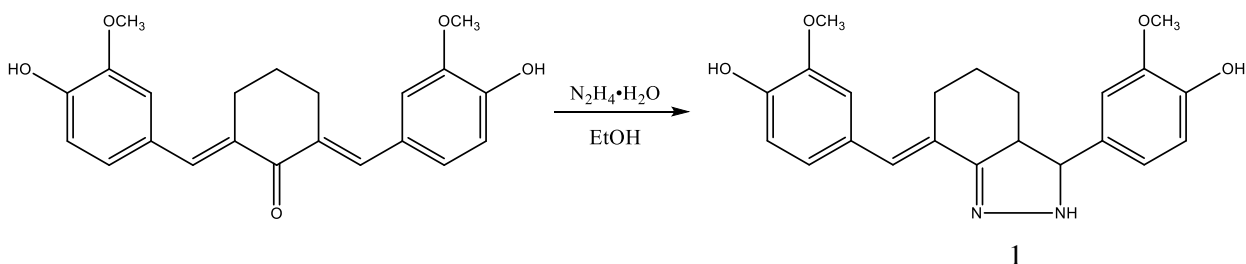
### Основное содержание работы

В качестве объекта исследования был выбран 2,6-ди-(4-гидрокси-3-метокси-бензилиден)циклогексанон (циквалон), так как он обладает широким спектром биологической активности, а реакции с ним мало известны. В литературе широко представлен синтез циквалона, но мало данных о синтезе

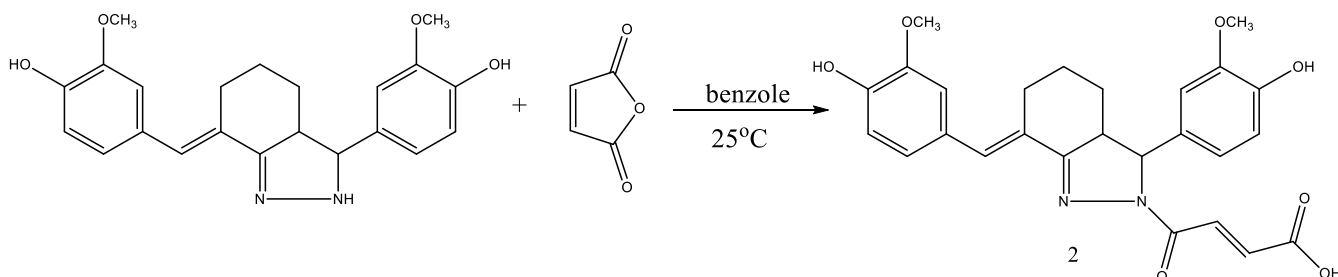
азот- и кислородгетероциклических систем, полученных в результате реакции циквалона с С- и N-нуклеофильными реагентами.

Описана реакция циквалона с гидразин-гидратом, в результате которой получен 4-(7-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3,3а,4,5,6,7-гексагидро-2Н-индазол-2-ил)-3-метоксифенол (1), реакции с другими N-нуклеофильными реагентами (4-нитрофенилгидразином, 2,4-динитрофенилгидразином, 3-амино-1,2,4-триазолом, 4-амино-1,2,4-триазолом и 2-амино-1,3-триазолом) нами были проведены впервые.

Воспроизведен синтез 4-(7-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3,3а,4,5,6,7-гексагидро-2Н-индазол-2-ил)-3-метоксифенола (1) на основе конденсации циквалона с гидразин-гидратом по ранее описанной методике (кипячение реагентов в изопропиловом спирте). Выход продукта составил 48%.



Последний впервые был подвергнут ацилированию с использованием малеинового ангидрида (перемешивание реагентов в бензоле при комнатной температуре). В результате была получена 4-(7-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-3-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-3,3а,4,5,6,7-гексагидро-2Н-индазол-2-ил)-4-оксобут-2-еновая кислота (2) с выходом 40%.



Наличие карбоксильной группы в полученном соединении может придает ему растворимость в воде, что важно при изучении биоактивности.

В ИК-спектре присутствуют полосы валентных колебаний связей C=C-СООН ( $1715\text{ см}^{-1}$ ), амида ( $1509\text{ см}^{-1}$ ), C=N ( $1621\text{ см}^{-1}$ ).

В спектре ЯМР  $^1\text{H}$  обнаруживаются сигналы группы -CH(a)=CH(b)

малеинового фрагмента (д. 6.33-6.37 (а), д. 7.49-7.53 (b) м.д.) и карбоксильной группы (с. 7.35 м.д.).

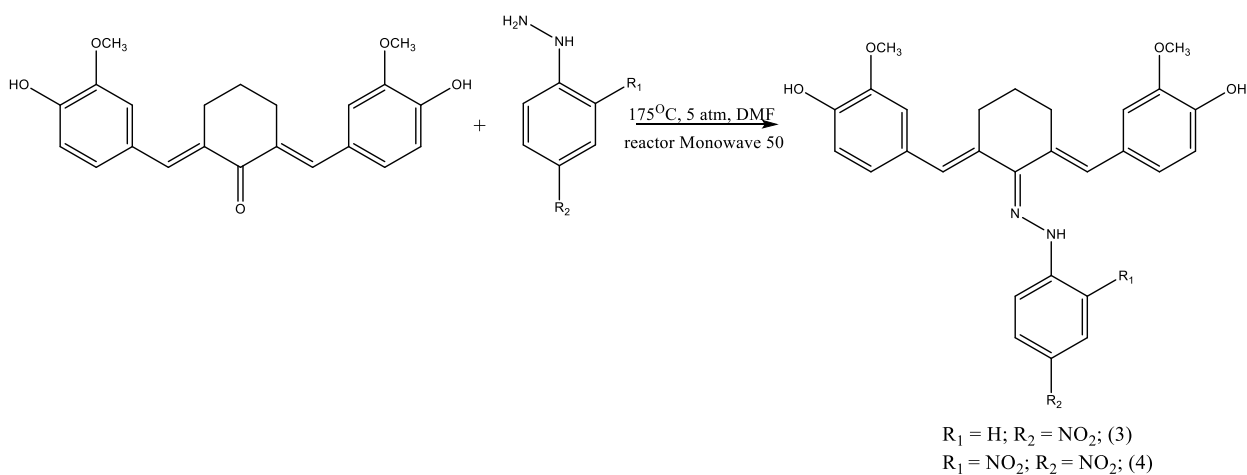
В спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  присутствуют сигналы атомов углерода  $\text{C}=\text{C}$  связей малеинового фрагмента (123.33, 129.31, 134.66 м.д.), карбонильной (163.56 м.д.), карбоксильной (164.11 м.д.).

В двумерном спектре HSQC  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  ключевыми являются корреляции протонов НЗ и НЗа пиразольного кольца с  $\text{sp}^3$  гибридными атомами углерода (5.07 м.д./68.26 м.д., 3.17 м.д./55.36 м.д.) и протонов  $-\text{CH}(\text{a})=\text{CH}(\text{b})$  с атомами углерода малеинового фрагмента (6.33 м.д./134.66 (а), 7.51 м.д./129.31 м.д. (b)).

В двумерном спектре HMBC  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  ключевыми являются корреляции протонов фрагмента  $-\text{CH}(\text{a})=\text{CH}(\text{b})$  с атомом углерода карбоксильной группы (6.33 м.д./164.19 м.д. (а), 7.51 м.д./164.19 м.д. (b)).

Наличие сигналов ОН-группы в ИК- (3500-3300  $\text{cm}^{-1}$ ) и ЯМР  $^1\text{H}$  (с. 7.57, 7.93 м.д.) подтверждает, что ацилирование прошло избирательно по NH-группе пиразольного цикла, не затрагивая гидроксильной группы бензольного фрагмента, что можно объяснить мягкими условиями (комнатная температура) и более высокой нуклеофильностью атома азота.

Реакции циквалона со слабыми нуклеофильными реагентами (нитрофенилгидразинами) ранее не изучались. Известные реакции с гидразингидратом и фенилгидразином привели к формированию продуктов азогетероциклизации как результат присоединения по сопряженной системе  $\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$  [17]. Использование слабых нуклеофилов (2-нитрофенилгидразин, 2,4-динитрофенилгидразин) позволило получить продукты избирательного



нуклеофильного замещения карбонильной группы – гидразоны, содержащие фармакофорный гидразонный фрагмент [35]. Нами при использовании 4-нитрофенилгидразина и 2,4-динитрофенилгидразина при варьировании условий (кипячение в полифосфорной кислоте и изопропиловом спирте, ультразвуковая активация в изопропиловом спирте) реакция не протекла. Однако нагревание в реакторе с герметичным сосудом (ДМФА, 175 °С, 5 бар) были получены 2,6-ди-(3-метокси-4-гидроксibenзилиден)-циклогексанон-4-нитрофенилгидразон (3) и 2,6-ди-(3-метокси-4-гидроксibenзилиден)-циклогексанон-2,4-динитрофенилгидразон (4) с выходом 36% и 75% соответственно.

Перевод растворителя в газообразное состояние способствует повышению давления, а следовательно, повышению температуры, что и способствует ускорению реакции.

**Таблица 1**

**Условия синтеза 3, 4**

Соединение	Нагрев при атмосферном давлении				УЗ-активация				Нагрев в реакторе Monowave 50			
	Р-ль	Т, °С	р, бар	t, час	Р-ль	Т, °С	р, бар	t, час	Р-ль	Т, °С	р, бар	t, час
<b>3</b>	i-PrOH	85	1	-	i-PrOH	60	1	-	ДМФА	175	5	4
<b>4</b>	i-PrOH	85	1	-	i-PrOH	60	1	-	ДМФА	175	5	4

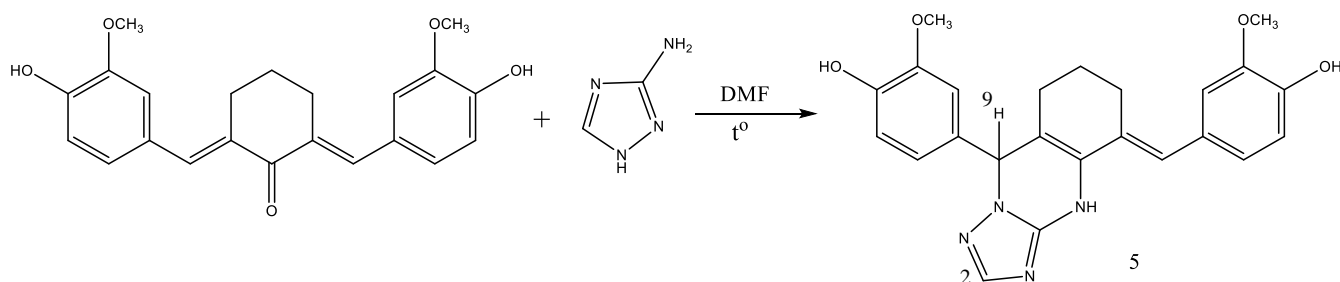
Строение последних установлено по наличию в ИК-спектрах полос валентных колебаний связи C=N (1264 см<sup>-1</sup>), групп NO<sub>2</sub> (s, 1348-1398 см<sup>-1</sup>), NO<sub>2</sub> (as, 1512-1525 см<sup>-1</sup>), NH (3412-3418 см<sup>-1</sup>) с сохранением полос поглощения алицикла, арилиденового фрагмента, характерных для исходного соединения.

В спектре ЯМР <sup>1</sup>H ключевыми являются сигналы протонов нитрофенилгидразонного фрагмента (м., 7.98-8.41 м.д.) и группы NH (с., 9.22 м.д.) для соединения **3**, и сигналы динитрофенилгидразонного фрагмента (м., 7.94-8.65 м.д.) и группы NH (с., 9.15 м.д.) для соединения **4**.

Спектральные характеристики свидетельствуют об отсутствии продуктов

азациклизации.

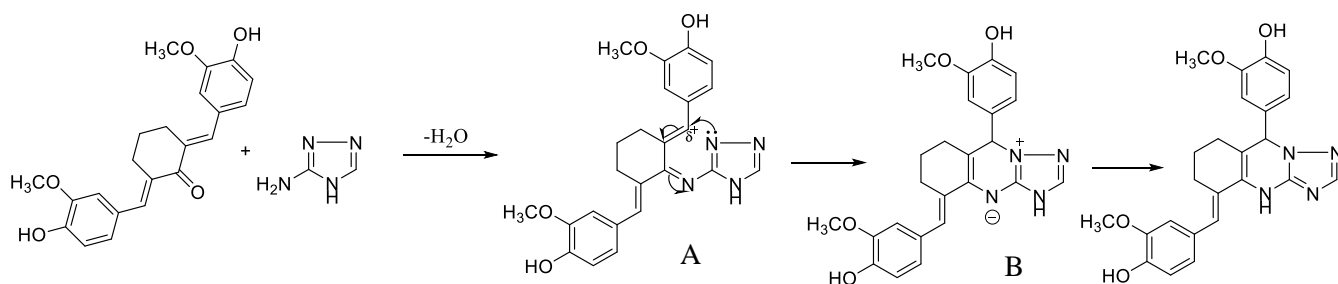
Полагая провести модификацию субстрата посредством введения фармакофорного триазольного фрагмента, мы впервые провели конденсацию циквалона с 3-амино-1,2,4-триазолом (кипячение реагентов в диметилформамиде). При этом получена трициклическая гибридная система 5-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-9-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-4,5,6,7,8,9-гексагидро[1,2,4]триазоло[5,1-*b*]хиназолин (5) с выходом 39%.



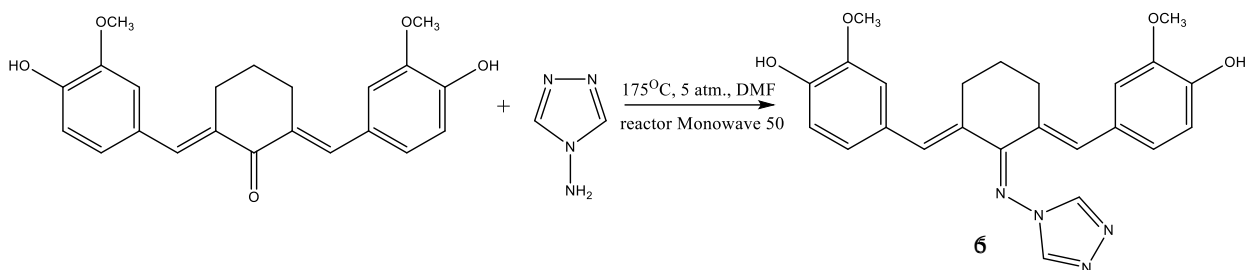
В ИК-спектре присутствуют полосы валентных колебаний связи C-N (1273  $\text{cm}^{-1}$ ), триазольного фрагмента (1590, 1511  $\text{cm}^{-1}$ ), группы NH (3435  $\text{cm}^{-1}$ )

В ЯМР  $^1\text{H}$  спектре ключевыми сигналами являются протон  $\text{H}_9$  (с., 5,75 м.д.) и NH (с., 8,22 м.д.), в спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  атомов углерод  $\text{C}_9$  (63,68 м.д.) и  $\text{C}_2$  (132,70 м.д.), в двумерном спектре HSQC  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$  присутствуют корреляции  $\text{H}_9/\text{C}_9$  (5,75/63,68 м.д./м.д.) и  $\text{H}_2/\text{C}_2$  (8,26/132,70 м.д./м.д.), в двумерном спектре HMBSC  $^1\text{H}/^{13}\text{C}$   $\text{H}_9/\text{C}_2$  (5,75/132,70 м.д./м.д.).

Формирование триазолохиназолина, вероятно протекает как нуклеофильное замещение оксо-группы субстрата при первичной нуклеофильной атаке  $\text{NH}_2$ -группы реагента с образованием гидразонного интермедиата **A** с последующей внутримолекулярной азицилизацией (цвиттер-ион **B**) и изомеризацией.



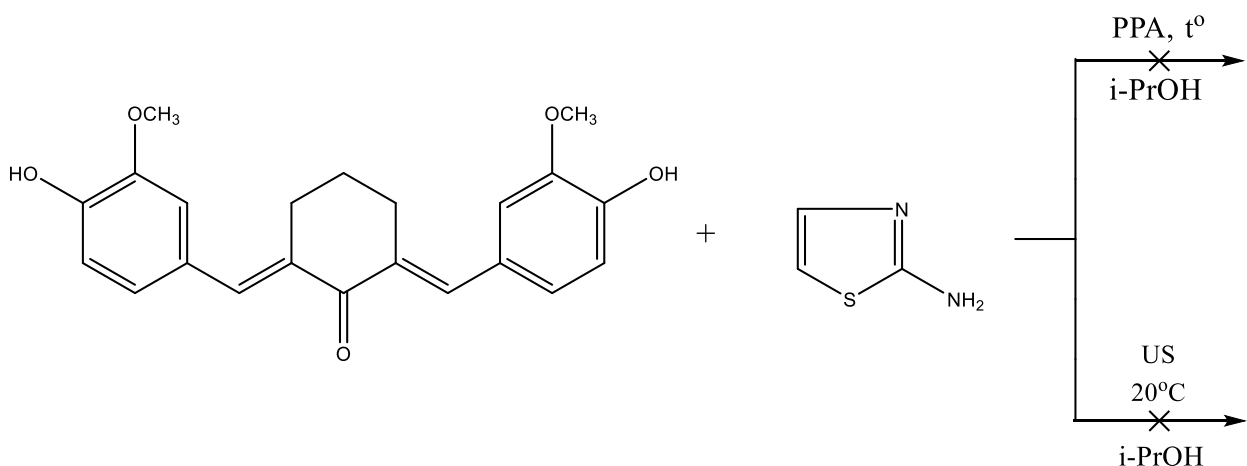
При замене 3-амино-1,2,4-триазола на 4-амино-1,2,4-триазол (DMFA, 175°C, 5 бар) нами был получен ранее неописанный продукт нуклеофильного замещения оксо-группы 4-[-3-[(4-гидрокси-3-метоксифенил)метилен]-2-[(4Н-1,2,4-триазол-4-ил)имино]циклогексилен]метил-2-метоксифенол (6) с выходом 60%.



В ИК-спектре присутствуют полосы валентных колебаний связей C=N (1635 см<sup>-1</sup>) и триазольного фрагмента (1615, 1512 см<sup>-1</sup>).

Для подтверждения строения полученного соединения необходимо выполнить спектральный (ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, HSQC, HMBC) анализ.

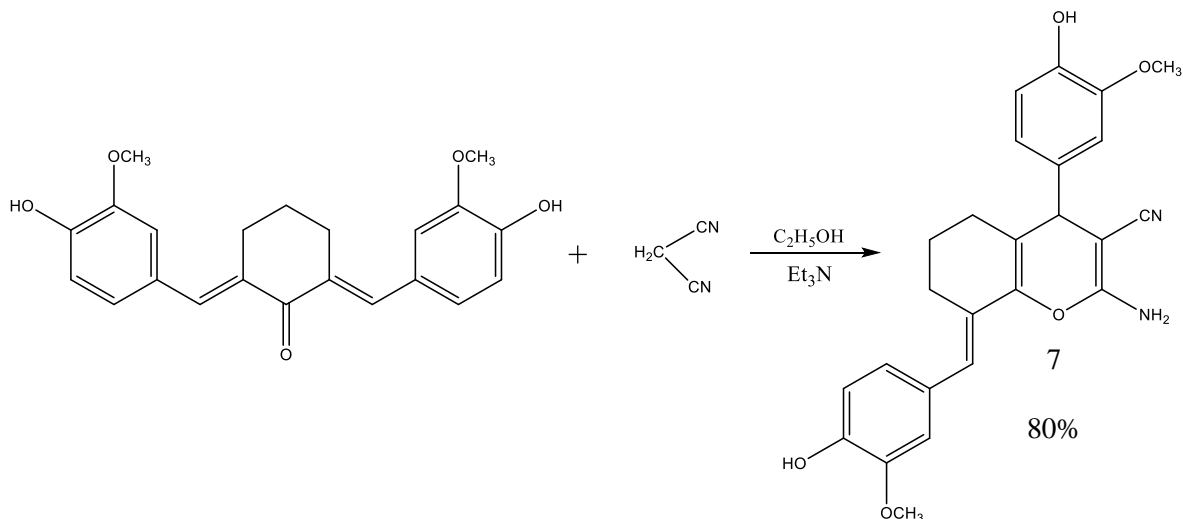
В литературе описаны синтезы замещенных 6,7,8,9-тетрагидро-5Н-тиазолохиназолинов на основе симметричных кросс-сопряженных диенонов циклогексанового ряда и 2-амино-1,3-тиазола. Наши опыты по замене 3-амино-1,2,4-триазола на 2-амино-1,3-тиазол оказались неудачными. При варьировании условий реакций (PPA, i-PrOH; УЗ-активация, i-PrOH) в кислой среде произошло осмоление реакционной смеси, либо реакция не протекла (УЗ-активация).



В литературе представлена единственная реакция циквалона с C-нуклеофильным реагентом (малонитрил) (DMFA, пиперидин, 20° C). При этом был получен 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-

### 3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрил.

Мы осуществили синтез этого соединения по модифицированной методике при ультразвуковой активации в этаноле в условиях основного катализа (триэтиламин), что позволило повысить выход продукта с 40% до 80% и резко сократить время реакции с 24 часов до 4. Константы полученного соединения полностью совпали с литературными.



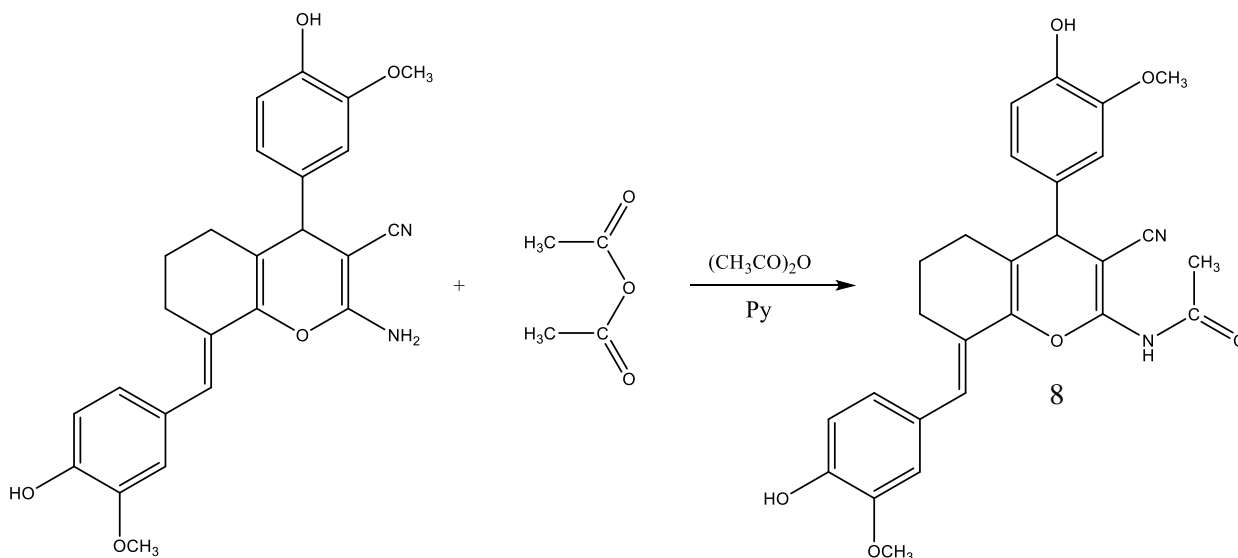
Наличие в продукте циано- и аминогрупп обуславливает проведение реакций с их участием (N-ацилирование, аннелирование гетероцикла).

Известны реакции 2-амино-хромен-3-карбонитрилов с функциональными производными карбоновых кислот.

Известны реакции 2-амино-хромен-3-карбонитрилов с использованием уксусного ангидрида в присутствии пиридина, полученные ацетильные производные образуются с низким выходом (28%) из-за сильного смолообразования.



Нами впервые проведено N-ацетилирование 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидро-4H-хромен-3-карбонитрила (6) с использованием уксусного ангидрида в условиях основного катализа (пиридин). При этом был получен 2-ацетиламино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидро-4H-хромен-3-карбонитрил (7) с выходом 28%.



В ИК-спектре соединения **8** присутствуют полосы валентных колебаний связей C=O ( $1636\text{ см}^{-1}$ ) и амида ( $1605\text{ см}^{-1}$ ).

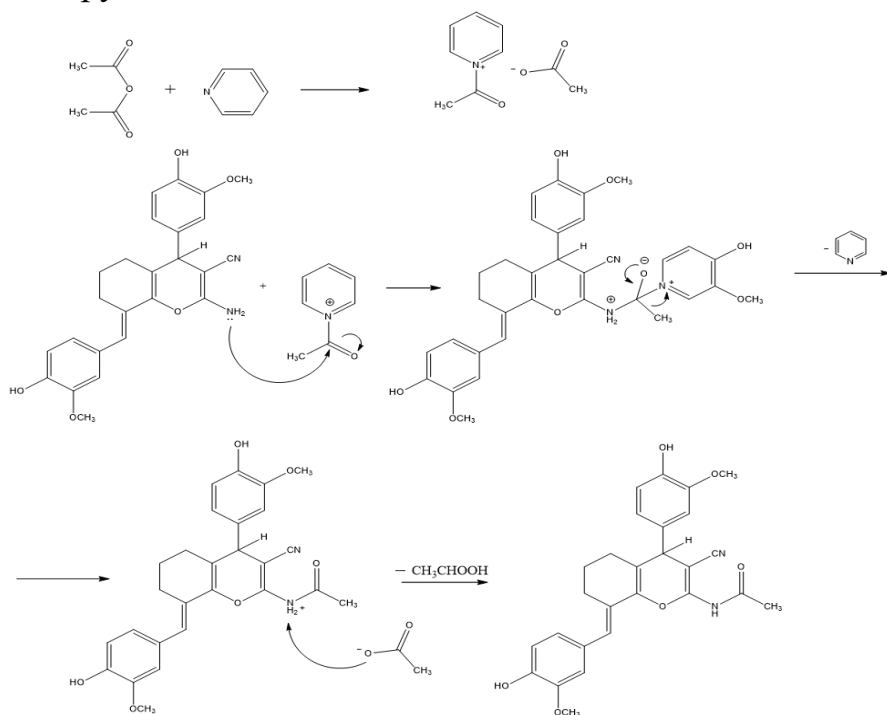
В ЯМР  $^1\text{H}$  спектре отмечены синглеты протона NH ( $7.05\text{ м.д.}$ ), метинового протона пиранового цикла  $\text{H}^4$  ( $4.41\text{ м.д.}$ ), метильного протона ( $2.49\text{ м.д.}$ ).

В спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  содержатся сигналы атомов углерода C=O ( $169.18\text{ м.д.}$ ) и метильной группы ( $24.97\text{ м.д.}$ ).

С помощью двумерных спектров HSQC установлены корреляции метиновых протонов пиранового цикла с  $\text{sp}^3$ -гибридным атомом углерода ( $4.41/45.49\text{ м.д./м.д.}$  ( $\text{H}^4/\text{C}^4$ )), метиленовой группы ( $2.49/24.97\text{ м.д./м.д.}$  ( $\text{CH}_2/\text{CH}_2$ )) и арилиденового фрагмента C=C-H ( $6.86/120.05\text{ м.д./м.д.}$  ( $=\text{C}-\underline{\text{H}}/= \underline{\text{C}}-\text{H}$ )).

Ацетилирующим реагентом в реакции является ацилпиридиний, который позволяет провести избирательное N-ацетилирование, не затрагивая

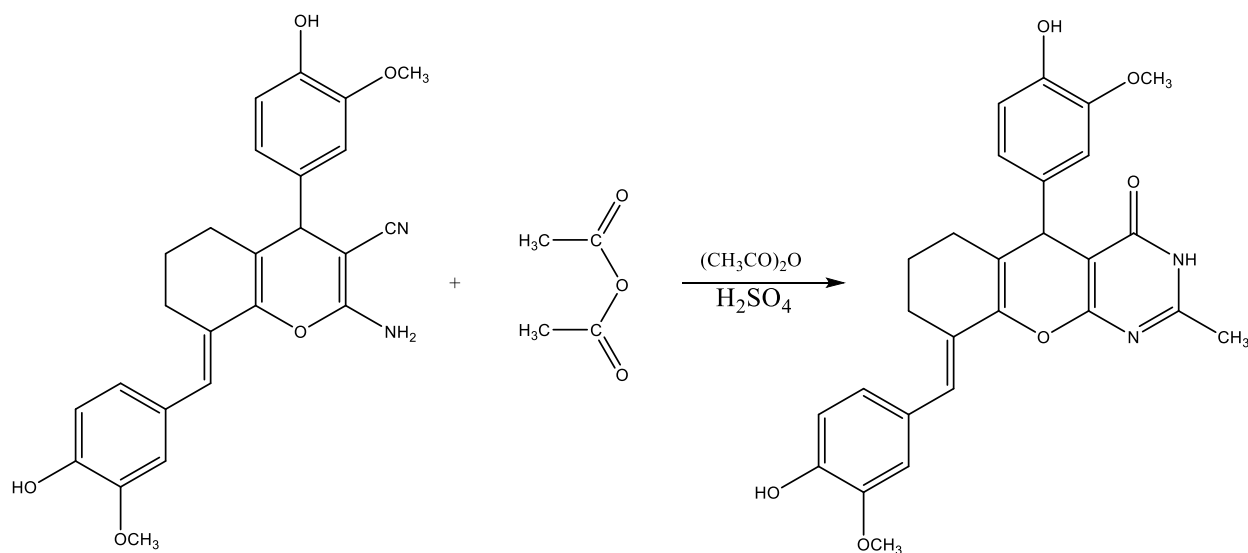
гидроксильных групп.



Описано аннелирование гетерокольца к 2-аминотетрагидрохромен-3-карбонитрилам с использованием уксусного ангидрида в условиях кислотного катализа (концентрированная серная кислота) с образованием хромено[2,3-d]пиримидинов.

Мы впервые использовали 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрил (6) в данной реакции. Под действием уксусного ангидрида, который выполняет роль циклизующего реагента и растворителя, в условиях кислотного катализа (концентрированная серная кислота) образуется ранее неописанный 9-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-5-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-2-метил-

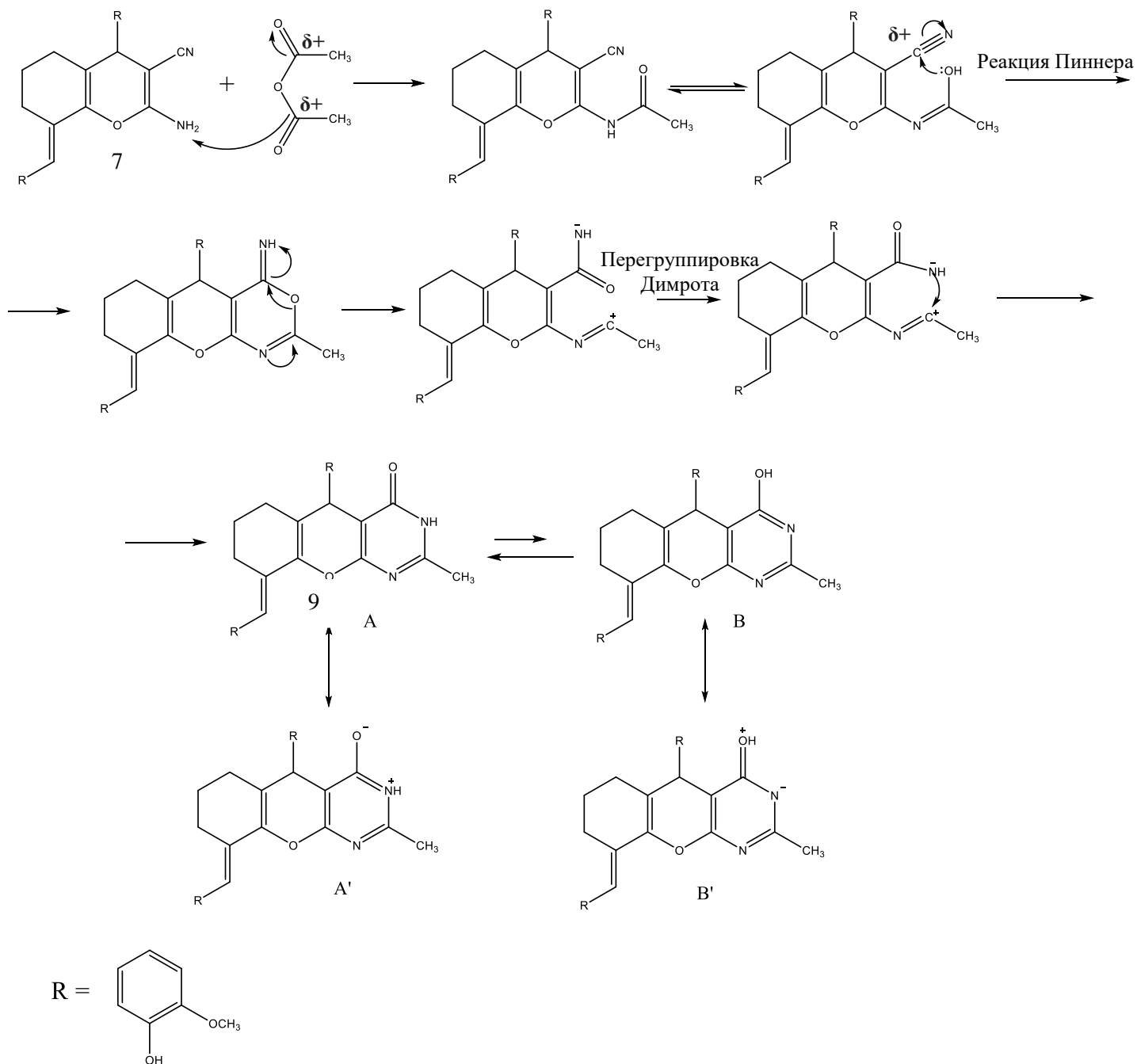
3,5,6,7,8,9-гексагидро-4Н-хромен[2,3-d]пиримидин-4-он (8) с выходом 42%.



В ИК-спектре присутствуют полосы валентных колебаний группы  $\text{CH}_3$  ( $1375 \text{ см}^{-1}$ ), связей  $\text{C}=\text{O}$  ( $1659 \text{ см}^{-1}$ ), амида ( $1603 \text{ см}^{-1}$ ), при отсутствии цианогруппы, характерной для исходного соединения.

В спектре ЯМР  $^1\text{H}$  присутствуют синглеты протона  $\text{NH}$  (12.74 м.д.), метильного протона (2.33 м.д.) и метинового протона пиранового цикла  $\text{H}^5$  (4.41 м.д.), в спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  сигналы атомов углерода метильной (21.31 м.д.),  $\text{C}=\text{O}$  группы (165.18 м.д.), в двумерных спектрах HSQC присутствуют корреляции метиновых протонов пиранового цикла с  $\text{sp}^3$ -гибридным атомом углерода (4.41/41.30 м.д./м.д. ( $\text{H}^5/\text{C}^5$ )), метиленовых протонов с метиленовым углеродом (2.33/21.30 м.д./м.д. ( $\text{CH}_3/\text{CH}_3$ )) и арилиденового протона с  $\text{sp}^2$ -гибридным атомом углерода  $\text{C}$  (7.14/120.66 м.д./м.д. ( $=\text{C}-\text{H}/=\text{C}-\text{H}$ )), в двумерных спектрах HMBC корреляция метинового протона пиранового цикла  $\text{H}^5$  с сигналом углерода карбонильной группы (4.41/165.18 м.д./м.д.).

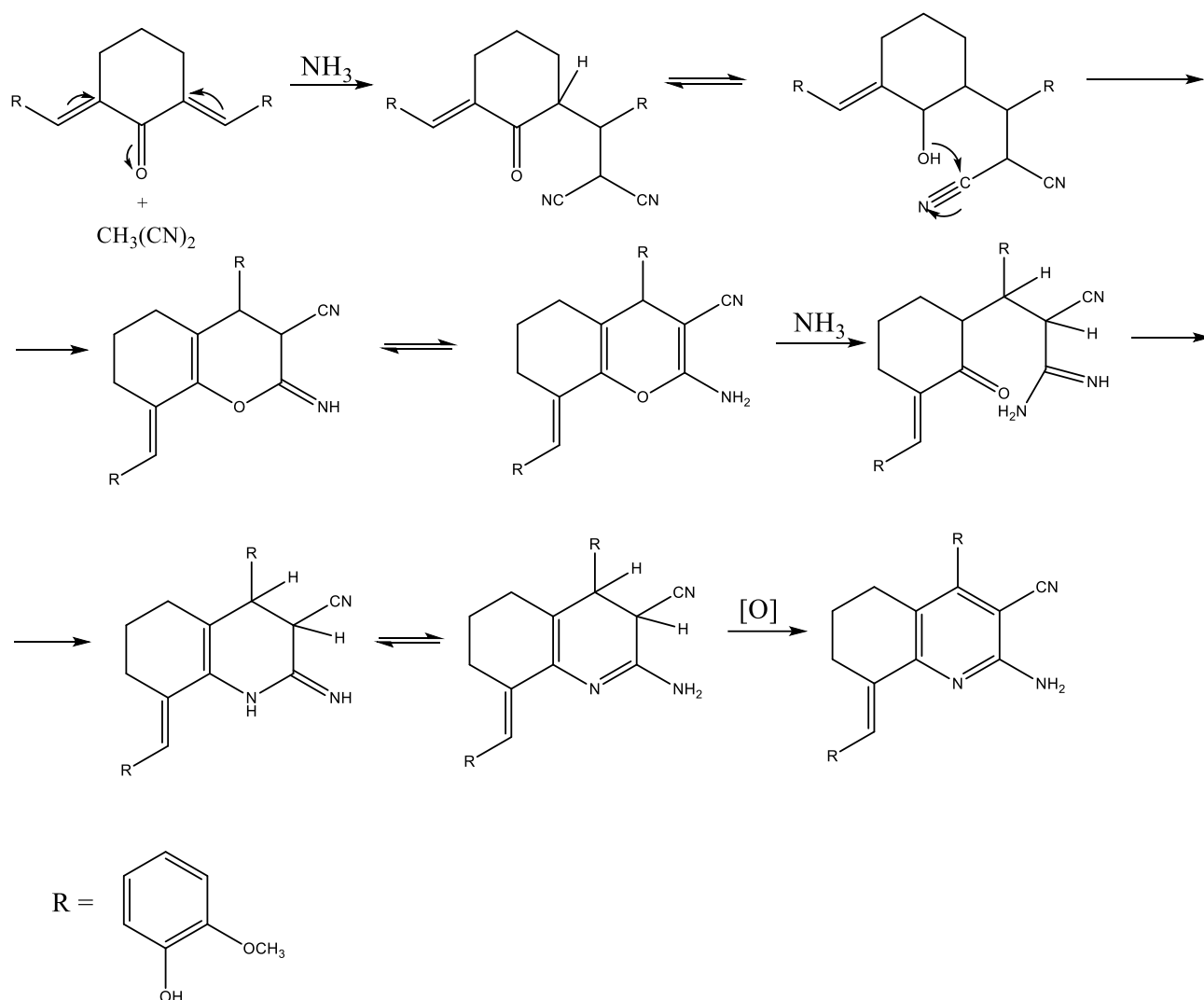
Схема аннелирования пиримидинового цикла к 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидрохромен-3-карбонитрилу можно представить согласно ранее предложенной для аналогично построенных систем [44], которая включает первоначальное N-ацетилирование исходного аминохроменкарбонитрила с последующей тандемной внутримолекулярной перегруппировкой Пиннера-Димрота.



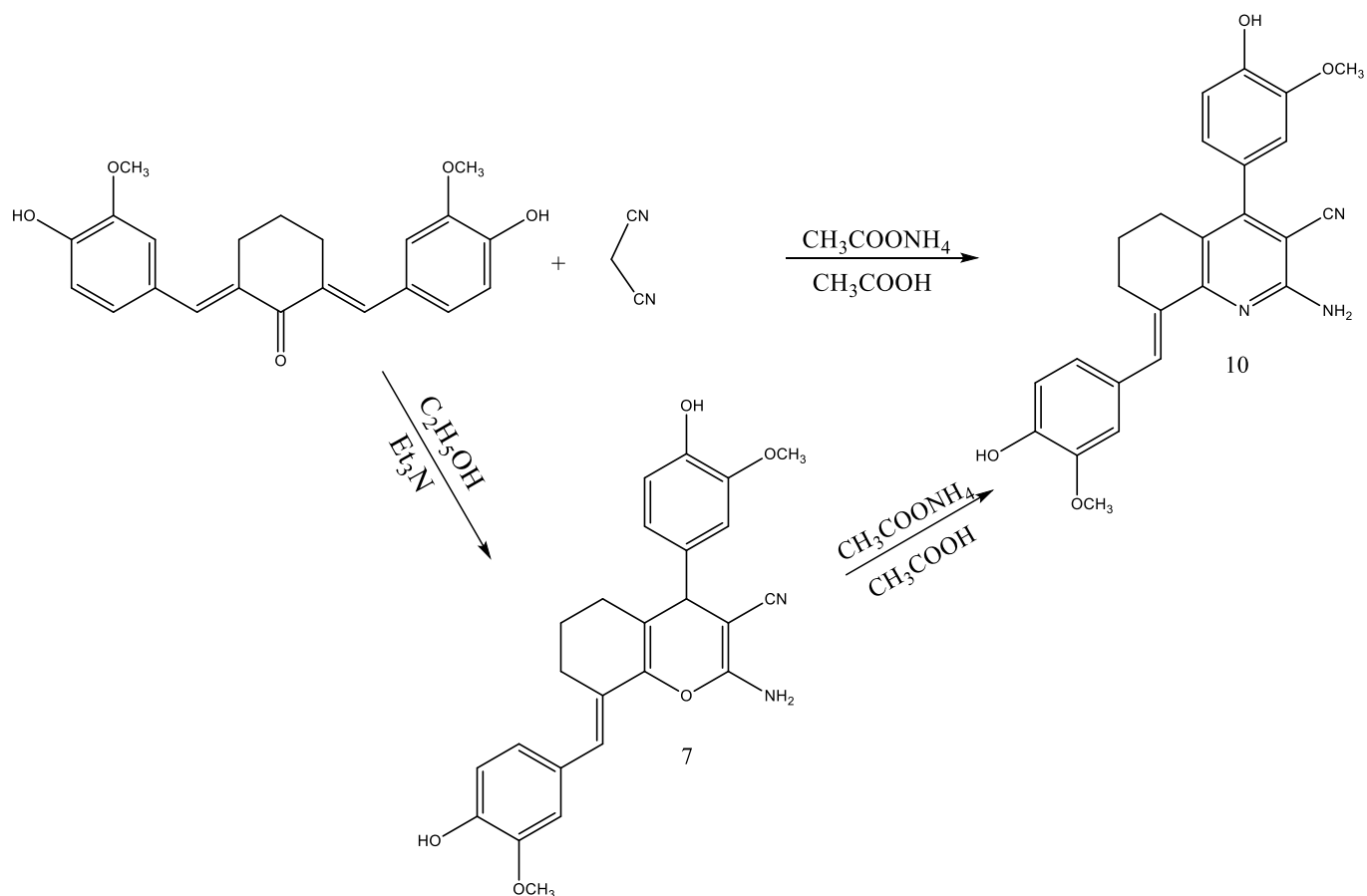
Спектральные данные свидетельствуют об образовании продукта 9 в лактамной форме. Из возможных таутомерных форм **A** (лактаманная) и **B** (лактимная) реализуется таутомер **A** из-за резонанса структур, в которых наиболее термодинамически стабильной является форма **A'** с отрицательным зарядом на наиболее электроотрицательном атоме кислорода.

В литературе представлены синтезы 2-аминохинолин-3-карбонитрилов трехкомпонентной конденсацией на основе диарилденциклоалканонов симметричного строения, малонитрила и ацетата аммония, циквалон также изучался в данной реакции.

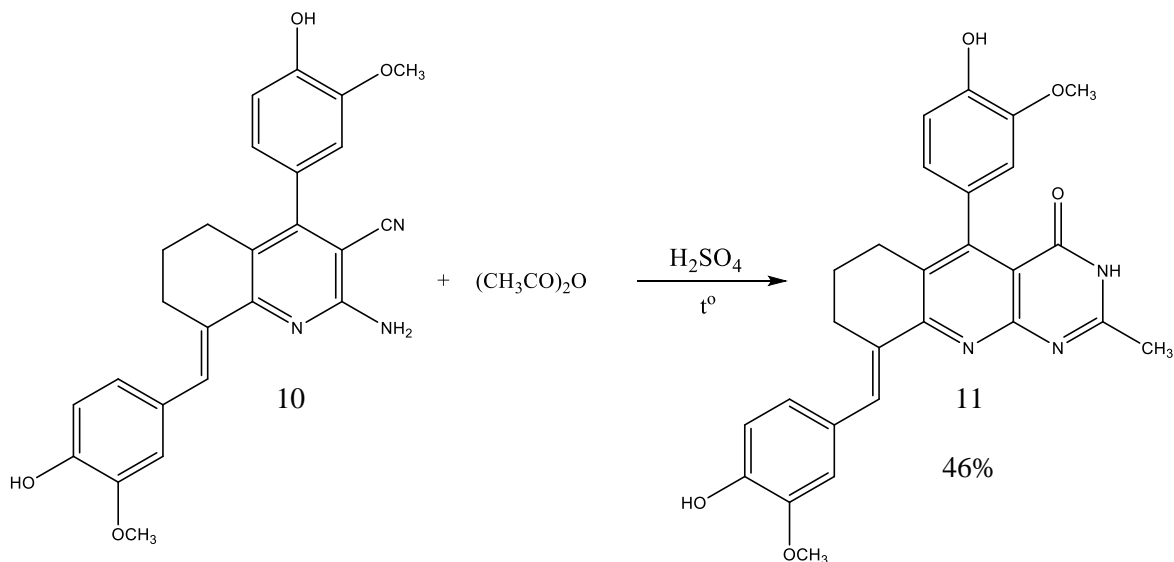
Мы предположили, что синтезы 2-аминохинолин-3-карбонитрилов включают промежуточное образование хроменкарбонитрилов, рециклизацию, имино-енаминную таутомерию и ароматизацию:



Проводимый нами впервые встречный синтез 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидрохинолин-3-карбонитрила (10) на основе 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидро-4Н-хромен-3-карбонитрила (7) и ацетата аммония при перемешивании и нагревании в уксусной кислоте. Образуется ранее описанный продукт трехкомпонентной конденсации.



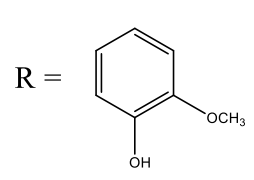
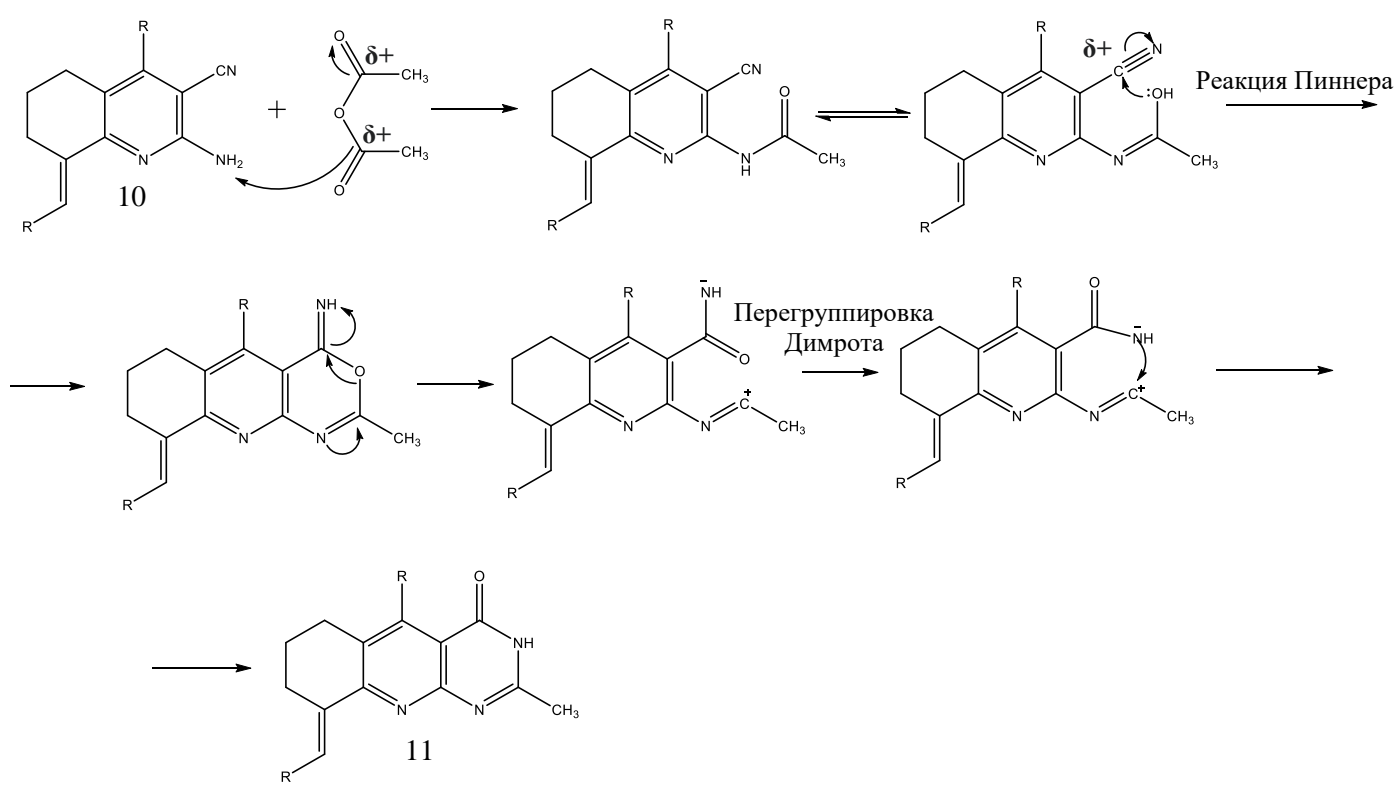
Нами впервые использовался 2-амино-8-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-4-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-5,6,7,8-тетрагидрохинолин-3-карбонитрил (10) с использованием уксусного ангидрида в условиях кислотного катализа (концентрированная серная кислота) при этом был получен ранее неописанный 9-(4-гидрокси-3-метоксибензилиден)-5-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-2-метил-6,7,8,9-тетрагидропиримидо[4,5-b]хинолин-4(3H)-он (11) с выходом 46%.



В ИК-спектре наблюдаются интенсивная полоса валентных колебаний группы NH ( $3416\text{ см}^{-1}$ ),  $\text{CH}_3$  ( $1369\text{ см}^{-1}$ ), связей амида ( $1553\text{ см}^{-1}$ ), C=O ( $1765\text{ см}^{-1}$ ) и пиридинового кольца ( $1605, 1508\text{ см}^{-1}$ ) при отсутствии полосы поглощения цианогруппы.

В спектре ЯМР  $^1\text{H}$  присутствуют синглеты протона NH (10.92 м.д.), метильного протона (2.34 м.д.).

Для получения пиримидо[4,5-*b*]хинолинона (11) может быть использована схема, которая была предложена для синтеза хромено[2,3-*d*]пиримидинона. Этот механизм включает в себя первоначальное N-ацетилирование субстрата, а затем тандемную внутримолекулярную перегруппировку Пиннера/Димрота.





## Выводы

1. На основе циквалона осуществлен синтез новых и известных (по модифицированной методике) 2-аминохромен(хинолин)-3-карбонитрилов и на их основе хромено(хинолин)пиримидинонов, N-ацетильных производных, триазолохиназолонов, индазола, нитро- и динитрогидразонов.
2. Трехкомпонентной конденсацией (циквалон, малононитрил, ацетат аммония) получен 2-аминохинолин-3-карбонитрил и представлена экспериментально обоснованная встречным синтезом схема его образования через O, N-рециклизацию хроменового интермедиата.
3. Впервые осуществлены реакции циквалона с гетариламинами (3-амино-1,2,4-триазол), что привело к образованию ранее неизвестной трициклической гибридной системы триазолохиназолина.
4. Найдены условия (термическая, УЗ-активация, реактор с герметичным сосудом) нуклеофильного замещения карбонильной группы циквалона с образованием нитро, динитрофенилгидразонов, что является примером малоизученных реакции деноновых производных циклогексана, протекающих избирательно по карбонильной группе.
5. Получены 7 ранее неизвестных соединений, строение которых установлено с использованием ИК-спектров и методик одномерной и двумерной спектроскопии ЯМР ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , HSQC, HMBC).

## Основное содержание работы изложено в публикациях

1. Никулин А. В, Рогов Д. А, Кривенько А. П. Циквалон в реакциях с С- и N-нуклеофильными реагентами // Межвуз. сборник науч. трудов XIV Всерос. конф. молодых ученых с международ. участием «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии». - Саратов. - 2020. - С. 57-60.
2. Никулин А. В., Кулиева В. Р., Рогов Д. А., Кривенько А. П. Реакции 4,8-С замещенных 2-аминохромено-3-карбонитрилов с участием амино- и цианогрупп // Межвуз. сборник науч. трудов XV Всерос. конф. молодых ученых с международ. участием «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии». - Саратов. - 2021. - С. 83-87.
3. Рогов, Д. А., Ланина, С. И., Кривенько, А. П. Циквалон в синтезе азот- и кислородсодержащих гетероциклов // Проблемы и достижения химии кислород- и азотсодержащих биологически активных соединений: Сборник тезисов VI Всероссийской молодежной конференции, Уфа, 17–18 ноября 2022 года. – Уфа: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ", 2022. – С. 70-71.
4. Рогов, Д. А., Кривенько, А. П. Циквалон в синтезе азот-, кислородсодержащих гетероциклов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология (в печати).