

Гликольурилы в синтезе конденсированных полигетероциклических соединений

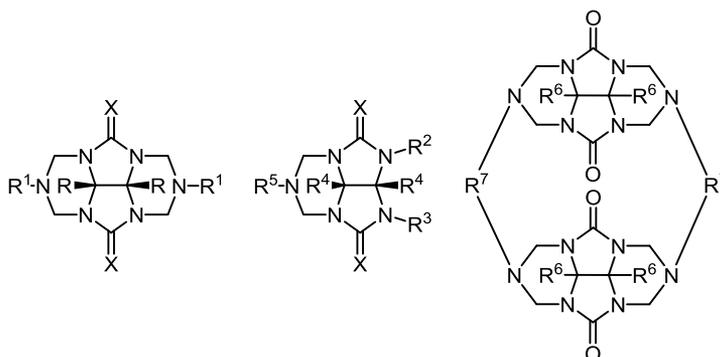
Яна А. Барсегян^{1,2*}, Владимир В. Баранов¹, Ангелина Н. Кравченко¹

¹ Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН,
Ленинский пр., 47, Москва 119991, Россия; e-mail: kani@server.ioc.ac.ru

² Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
Миусская пл., 9, Москва 125047, Россия

Поступило 8.11.2016

Принято 22.11.2016



Обобщены и проанализированы данные по методам синтеза конденсированных полигетероциклических соединений на основе гликольурилов, опубликованные за последнее десятилетие.

Ключевые слова: амины, аминокислоты, гликольурилы, диамины, конденсированные полигетероциклы, формальдегид, конденсация.

Вот уже более ста лет внимание химиков привлекают гликольурилы и их производные. На основе реакций гликольурилов с формальдегидом интенсивно развивается химия конденсированных полициклических производных гликольурила кукурбитурилов¹ и бамбусурилов,^{2–6} представляющих интерес в качестве объектов супрамолекулярной химии. Интересными являются и более простые конденсированные полигетероциклические соединения: 2,6-дизамещенные гексагидро-1*H*,5*H*-2,3*a*,4*a*,6,7*a*,8*a*-гексаазациклопента[*def*]флуорен-4,8-дионы (**I**), их 3*a*¹,4*a*¹-тетраметилзамещенные (**I**, R¹ + R² = (CH₂)₄) производные, в том числе энантимерно чистые, их 4,8-тиоаналоги (**I**, X = S) и 2*a*,2*a*¹-дизамещенные 6-алкилтетрагидро-5*H*-2,3,4*a*,6,7*a*-пентаазациклопента[*cd*]инден-1,4(2*H*,3*H*)-дионы(тионы) (**II**),^{7–49} полученные взаимодействием гликольурилов, формальдегида и различных аминов и аминокислот. Кроме того, гликольурилы и формальдегид используются при синтезе макроциклических полиаминов **III**⁸ (рис. 1). Перечисленные соединения нашли применение в медицине, технике, полимерной промыш-

ленности, причем большинство их полезных свойств запатентовано,^{9–11} что говорит о перспективности таких соединений.

Тетрациклические соединения **I** являются биологически активными: ингибируют мультилекарственную устойчивость⁹ различных бактерий, вирусов, грибов, а также раковых клеток, оказывают нейропротекторное действие.¹² Помимо этого, они запатентованы в качестве светостабилизаторов полимеров, стабилизаторов при производстве пластмасс, покрытий и органических материалов, защищающих от воздействия кислорода и тепла.^{10,11} Отдельные представители этого класса соединений используются в качестве флуоресцентных хемосенсоров.¹³ Одно из соединений – 2,6-ди(*tert*-бутил)замещенный тетрацикл типа **I** – является исходным соединением в синтезе новых высокоэнергетических материалов.¹⁴ Есть примеры использования гликольурилов в качестве молекулярных клипс.^{13,15} Трициклические производные гликольурилов типа **II** являются перспективными объектами супрамолекулярной химии.^{16,17} Например, обнаружена

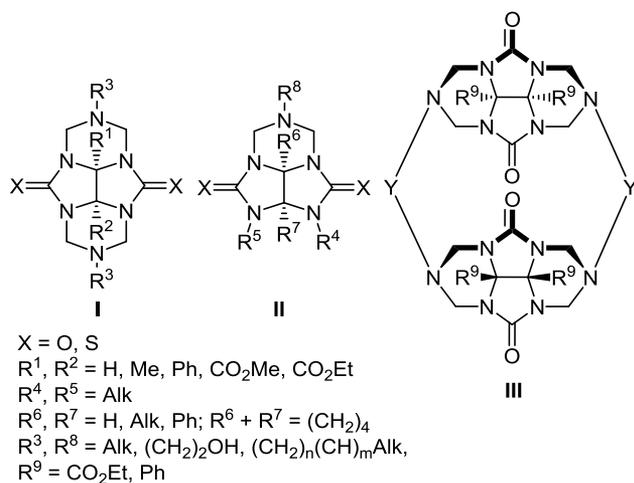


Рисунок 1. Известные поликонденсированные полигетероциклические соединения на основе гликольурилов.

способность отдельных трициклов типа II ($R^6, R^7 = CO_2Et, Ph$) к самосборке: за счет процессов гомохирального распознавания они образуют одномерные ленты, которые, в свою очередь, связываются в двумерные сети.¹⁶ Также известен пример конгломератообразования трициклических гликольурилов.¹⁷

Несмотря на то, что первые публикации по синтезу соединений типа I в виде патентов относятся к концу прошлого столетия,^{9–11,18} интерес к разработке методов их получения и расширению круга этих соединений до сих пор существует.^{19–49} Однако обзоры по синтезу этих соединений отсутствуют.

1. Методы синтеза 2,6-диалкилгексагидро-1*H*,5*H*-2,3*a*,4*a*,6,7*a*,8*a*-гексаазазациклопента[*def*]флуорен-4,8-дионов (дитионов) и их 3*a*¹,4*a*¹-тетраметилзамещенных производных

Синтез 2,6-диалкилгексагидро-1*H*,5*H*-2,3*a*,4*a*,6,7*a*,8*a*-гексаазазациклопента[*def*]флуорен-4,8-дионов 1–6 (соединений типа I, рис. 1) осуществляется с использованием трех подходов (схема 1):

– трехкомпонентной одnoreакторной конденсации тетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дионов (гликольурилов) 7*a*–*e* с формальдегидом и аминами (метод I);^{7,8,10,14,15,18–35}

– взаимодействия 1,3,4,6-тетракис(гидроксиметил)-тетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-диона (8*a*) и его 3*a*,6*a*-тетраметилзамещенного аналога (8*b*) с аминами и аминокислотами (метод II);^{10,18,19,36–39}

– конденсации гликольурила 7*a* с *N,N*-бис(метокси-метил)алкиламинами в присутствии катализатора $SmCl_3 \cdot 6H_2O$ (метод III).⁴⁰

1.1. Трехкомпонентная одnoreакторная конденсация гликольурилов с формальдегидом и аминами (метод I)

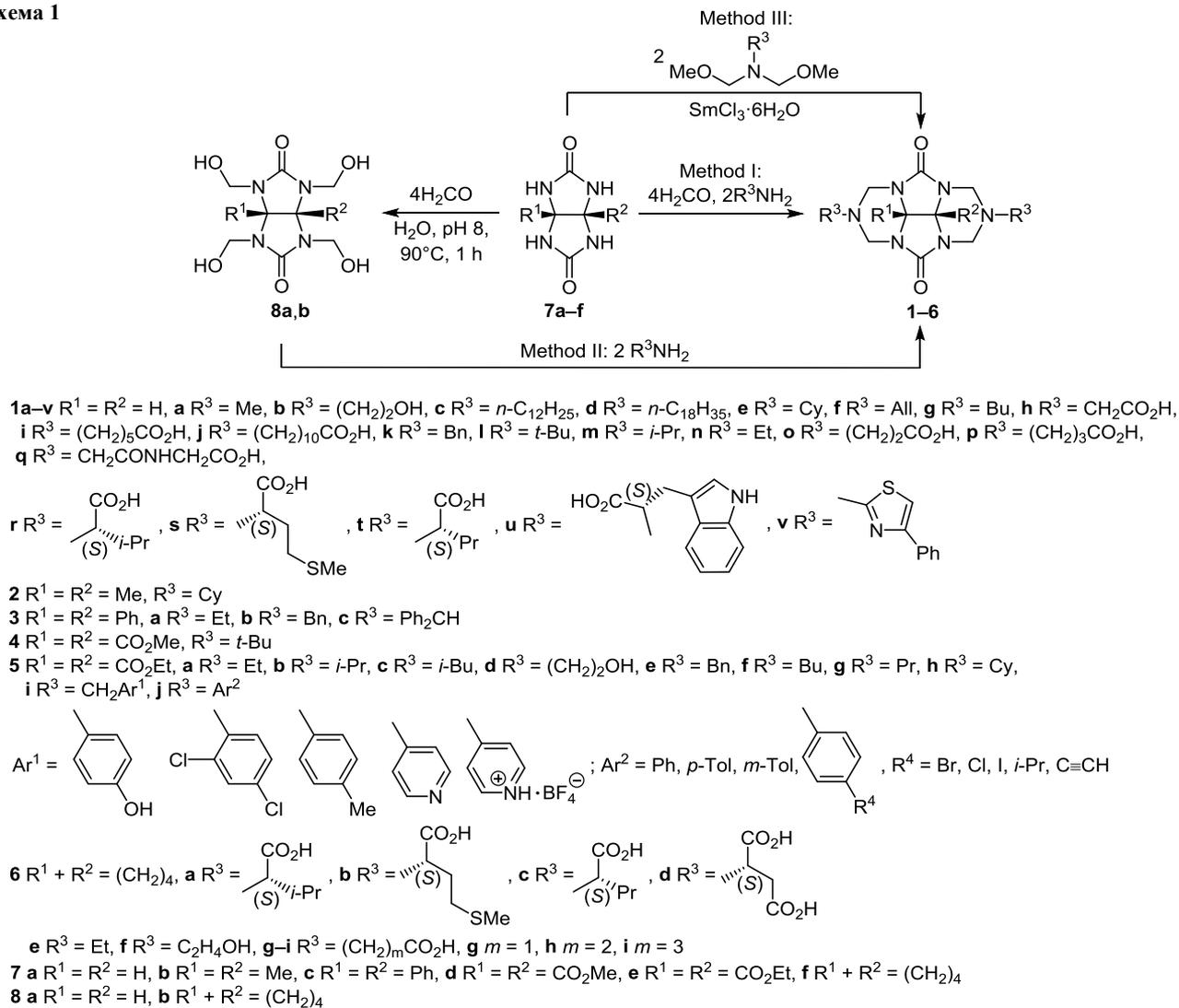
Метод I применяется в синтезе тетрациклических соединений 1–5 и заключается в трехкомпонентной конденсации гликольурилов с разными заместителями

при мостиковых атомах углерода 7*a*,*c*–*e* с формальдегидом и аминами. В частности, этот подход использовался в синтезе трех тетрациклов 1*a*,*b*,*v* реакцией гликольурила 7*a* с 4 моль формальдегида и 2 моль аминов (метил-, 2-(гидроксиэтил)аминов, 4-фенилтриазол-2-аминов).^{18,19} Тетрацикл 1*a* синтезирован с выходом 33%, но условия реакции гликольурила 7*a* с формальдегидом и метиламином в патенте не приведены.¹⁸ Для синтеза второго тетрацикла 1*b* (выход 80%) использовали нагрев реакционной смеси при 80 °C в течение 2.5 ч.¹⁸ Соединение 1*v* получено с выходом 17%, условия не указаны.¹⁹

В основном метод I применялся для получения диэтил-2,6-диалкил-4,8-диоксо-1,3,5,7-тетрагидро-1*H*,5*H*-2,3*a*,4*a*,6,7*a*,8*a*-гексаазазациклопента[*def*]флуорен-3*a*¹,4*a*¹-дикарбоксилатов 5*a*–*j* (22 примера) путем конденсации диэтил-2,5-диоксотетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-3*a*,6*a*(1*H*,4*H*)-дикарбоксилата (7*e*) с 37% водным раствором формальдегида и алкил-, арил- и алкилариламинами.^{7,8,15,20–31} В литературе представлено несколько методик получения соединений 5*a*–*j*. В синтезе соединений 5*a*–*i* раствор аминов в MeOH или MeCN прикапывали к смеси гликольурила с формальдегидом.^{7,8,20–23,29–31} При использовании MeOH амины прикапывали в течение 1 ч, а реакционную смесь кипятили в течение 9–24 ч, при этом выходы тетрациклических соединений составили от 10 до 76%.^{8,15,29–31} Для увеличения выходов тетрациклов 5*b*–*e*,*h* в качестве растворителя аминов использовали MeCN, а реакционную смесь перемешивали 12 ч при комнатной температуре.^{20–23,31} Это позволило получить тетрациклы 5*b*–*e*,*h* с выходами 90%. Синтез тетрациклов 5*j* осуществляли с использованием разных растворителей (MeOH, EtOH, ТГФ, ДМФА)^{24–28} и установили, что для реакций диэтоксикарбонилгликольурила 7*e* с формальдегидом и ароматическими аминами (анилином, *para*-толуидином, *meta*-толуидином, *para*-метоксианилином, *para*-изопропиланилином, *para*-хлоранилином, *para*-броманилином, *para*-иоданилином, *para*-этиниланилином) наиболее пригоден ДМФА и выдерживание реакционной смеси при 120 °C в течение 16 ч, при этом выходы продуктов 5*j* составили 24–61%.^{25,27} При использовании *para*-нитроанилина и *para*-аминопиридина в аналогичных реакциях не удалось получить целевые тетрациклы.²⁵ В других работах^{24,26} соединения 5*j* ($R^3 = Ph, p\text{-Tol}$) получены с выходами 70 и 60% соответственно, но указана только продолжительность реакции – 12 ч.

Метод I использовался и в синтезе диметил-2,6-ди(*трет*-бутил)-4,8-диоксотетрагидро-1*H*,5*H*-2,3*a*,4*a*,6,7*a*,8*a*-гексаазазациклопента[*def*]флуорен-3*a*¹,4*a*¹-дикарбоксилата (4)³² (выход 90%), а также 2,6-диалкил-3*a*¹,4*a*¹-дифенилгексагидро-1*H*,5*H*-2,3*a*,4*a*,6,7*a*,8*a*-гексаазазациклопента[*def*]флуорен-4,8-дионов 3*a*–*c*.^{14,33–35} Дикарбоксилат 4 получали конденсацией диметил-2,5-диоксотетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-3*a*,6*a*(1*H*,4*H*)-дикарбоксилата (7*d*), параформальдегида и *трет*-бутиламина в MeCN при комнатной температуре. Соединение 3*a* (выход 12%) получали конденсацией 3*a*,6*a*-дифенил-

Схема 1



гликольурилы **7c** с формальдегидом и этиламином при кипячении в MeOH.^{14,33} Синтез соединений **3b,c** с выходами 90% также осуществляли в MeCN при комнатной температуре.^{34,35}

Соединение **2** получали взаимодействием 3а,6а-диметилгликольурилы **7b** с 30% раствором формальдегида и циклогексиламином при кипячении в изобутаноле.¹⁰

1.2. Конденсация 1,3,4,6-тетракис(гидроксиметил)-тетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дионов с аминами и аминокислотами (метод II)

Метод II, основанный на взаимодействии 1,3,4,6-тетракис(гидроксиметил)тетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-диона (**8a**) и 3а,6а-тетраметилензамещенного аналога **8b**, полученных по известным методикам,^{36,37} с аминами (метиламином, этиламин, изопропиламин, *n*-бутиламин, циклогексиламин, аллиламин, бензиламин, додекан-1-амином, октадекан-1-амином, 2-(гидроксиэтил)-амином, 4-фенилтриазол-2-амином) и аминокислотами

(глицином, ϵ -аминокапроновой кислотой, 11-аминoundекановой кислотой, β -аланином, γ -аминоасляной кислотой, глицилглицином, валином, метионином, норвалином, триптофаном и аспарагиновой кислотой в виде калиевых солей) применялся при синтезе тетра- и пентациклических соединений **1** и **6**^{10,18,19,36–39} (31 пример). Реакции проводили в нескольких вариантах, используя разные растворители (H₂O, MeOH, MeOH–H₂O, MeOH–C₇H₁₆, EtOH, MeCN, H₂O–*i*-PrOH, 2:3, *i*-PrOH, *i*-BuOH), температуру (90, 60 °С, комнатную, температуру кипения) и продолжительность (от 0.5 до 12 ч). Выходы продуктов **1a–v** составили 37–91%. В патенте¹⁸ представлены разнообразные методики получения десяти тетрациклов **1a–j** (табл. 1). В патенте¹⁰ заявлено о синтезе тетрациклов **1a,m**, но выходы не указаны. Тетрациклы **1b,n–u**, в том числе энантиомерно чистые **1r–u**, получены при нагревании реагентов **8a,b** и аминов или аминокислот в виде калиевых солей в H₂O при 90 °С в течение 2 ч.^{37,38} Тетрацикл с изопропильными заместителями **1m** синтезирован с выходом 90% при выдерживании

Таблица 1. Условия синтеза и выходы соединений **1a–j**

| Соединение | R | Условия реакции | Выход, % |
|------------|--|--|----------|
| 1a | Me | H ₂ O, Δ | 78 |
| 1b | CH ₂ CO ₂ H | H ₂ O, Δ, 1 ч | 59 |
| 1c | (CH ₂) ₅ CO ₂ H | H ₂ O, 60 °C, 2 ч | 61 |
| 1d | (CH ₂) ₁₀ CO ₂ H | H ₂ O, Δ, 0.5 ч | 70 |
| 1e | All | MeOH, Δ, 1 ч | 82 |
| 1f | Bn | EtOH, Δ, 1 ч | 37 |
| 1g | <i>n</i> -C ₁₈ H ₃₇ | <i>i</i> -PrOH, Δ | 85 |
| 1h | <i>n</i> -C ₁₂ H ₂₅ | <i>i</i> -BuOH, Δ | 77 |
| 1i | Cy | H ₂ O– <i>i</i> -PrOH, 2:3, Δ | 91 |
| 1j | Bu | MeOH, C ₇ H ₁₆ | 90 |

гликольурила **8a** с изопропиламином в течение 12 ч в MeCN при комнатной температуре.³⁹

Синтез тетрацикла **11** проводили в 2 стадии: на первой – водную суспензию гликольурила **7a** с параформальдегидом выдерживали 12 ч при 70 °C в присутствии NaOH (pH 8–10); на второй – к полученной реакционной смеси добавляли *трет*-бутиламин и выдерживали 16 ч при 40 °C.¹⁴ Продукт реакции **11** выделили с выходом 61%.

1.3. Конденсация гликольурила с *N,N*-бис-(метоксиметил)алкиламины в присутствии катализатора SmCl₃·6H₂O (метод III)

В 2015 г. был предложен новый метод синтеза соединений **1b,e,l,m**, который заключался в конденсации гликольурила **7a** с *N,N*-бис(метоксиметил)алкиламины (R³ = Cy, *i*-Pr, *t*-Bu, (CH₂)₂OH) в CHCl₃–EtOH и использовании в качестве катализатора SmCl₃·6H₂O (схема 1).⁴⁰ Для выделения целевых соединений использовалась колоночная хроматография, после которой выходы соединений **1b,e,l,m** составили 70–81%.

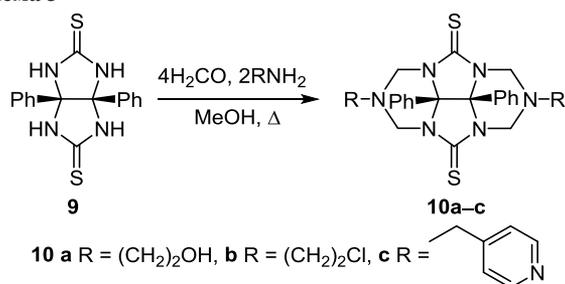
1.4. Модификация тетрациклического соединения **5d** методом клик-химии

Для получения конденсированных тетрациклических соединений **5m–s**, являющихся молекулярными клипсами, разработан трехстадийный метод¹³ (схема 2), основанный на химических превращениях диэтоксикарбонилгликольурила **5d**.⁴¹ На первой стадии

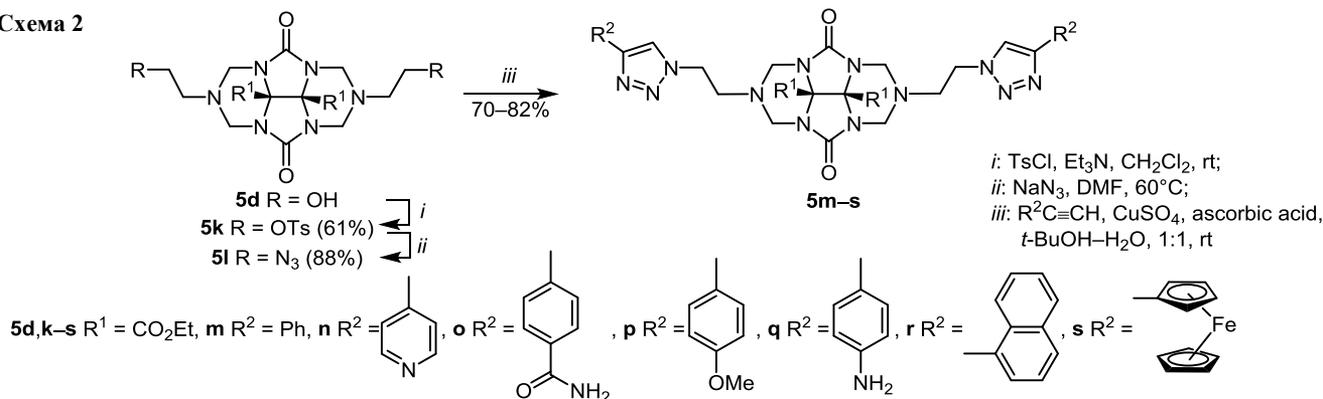
дигидроксиэтилпроизводное **5d** тозилировали TsCl в CH₂Cl₂ в присутствии Et₃N при комнатной температуре. На второй – полученный тетрацикл **5k** превращали в азид **5l** действием NaN₃ в ДМФА. После обработки азида **5l** различными арилацетиленами в среде растворителей *t*-BuOH–H₂O, 1:1, в присутствии CuSO₄ и аскорбиновой кислоты (клик-реакция) получили с выходами 70–82% соединения **5m–s**, обладающие свойствами флуоресцентных хемосенсоров.

1.5. Синтез 2,6-диалкил-3a¹,4a¹-дифенил-1,3,5,7-тетрагидро-2,3a,4a,6,7a,8a-гексаазациклопента[def]-флуорен-4,8-дитионов

Для синтеза тиоаналогов тетрациклов **6a–c** использовался метод I (схема 1). 3a,6a-Дифенилтетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дитион (**9**), 37% раствор формальдегида и амины ((2-гидроксиэтил)амин, (2-хлороэтил)амин и (4-пиридинил)метиламин)^{14,15,42–44} кипятили в MeOH (схема 3). К сожалению, в работах не указаны продолжительность взаимодействия и выходы, хотя строение полученных 3a¹,4a¹-дифенилгексагидро-1*H*,5*H*-2,3a,4a,6,7a,8a-гексаазациклопента[def]флуорен-4,8-дитионов **10a–c** доказано методом PCA.

Схема 3

Таким образом, трехкомпонентная одnoreакторная конденсация тетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дионов (гликольурилов) **7a–e** с формальдегидом и аминами (метод I) является основным способом синтеза тетрациклов **5a–j**. Среди других тетрациклических соединений **1–4**, **6**, **10** на основе этого метода получены только отдельные представители этого класса соединений **1a,b**, **2–4**, **10a–c**. Метод II (взаимодействие 1,3,4,6-тетракс(гидроксиметил)тетрагидро-

Схема 2

имидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-диона (**8a**) и его 3a,6a-тетраметилзамещенного аналога **8b** с аминами и аминокислотами) используется в синтезе соединений **1a–u** и **6a–i**. Методом III (конденсация гликольурилы **7a** с *N,N*-бис(метоксиметил)алкиламинами в присутствии катализатора SmCl₃·6H₂O) получены 4 соединения **1b,e,l,m**. Для расширения круга тетрациклических соединений применен метод клик-химии.

2. Синтез 2a,2a¹-дизамещенных (2-замещенных) 6-алкилтетрагидро-5*H*-2,3,4a,6,7a-пентаазациклопента[*cd*]инден-1,4(2*H*,3*H*)-дионов(тионов)

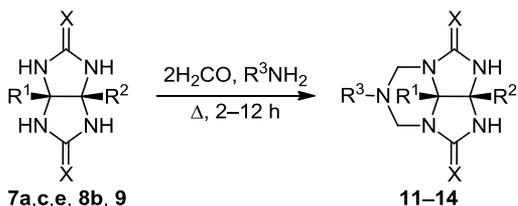
Синтез трициклических производных гликольурилы – 2a,2a¹-дизамещенных 6-алкилтетрагидро-5*H*-2,3,4a,6,7a-пентаазациклопента[*cd*]инден-1,4(2*H*,3*H*)-дионов (тионов) **11–14** – и их тетрациклического аналога **15** осуществлялся трехкомпонентной конденсацией 3a,6a-дизамещенных тетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дионов **7a,c,e** или их тионалога **9** либо соединения **8b** с формальдегидом (в виде растворов в соответствующем растворителе) и аминами или калиевыми солями аминокислот (схема 4).^{8,16,25,37,45–48}

Реакции проводили в H₂O, MeOH, EtOH и MeCN. Трициклические соединения **11a–c** (выходы 35–50%) получены при выдерживании реакционных смесей в течение 2 ч при температуре 90 °С. Наблюдалось образование продуктов олигомеризации *N*-(гидрокси-метил)гликольурилов различной степени гидроксиметилирования по атомам азота как между собой, так и с аминокислотами.³⁷

Синтез соединения **12a** (выход 20%) проводился в MeCN в течение 12 ч при комнатной температуре.⁴⁵ При синтезе соединений **12b,c** реакционную смесь кипятили в MeOH.^{46,47} Соединения **12d, 13** получили аналогично, заменив MeOH на EtOH (продолжительность реакции 10–12 ч).¹⁶ Выходы продуктов **12b–d, 13** – 45–80%.

Конденсацией 3a,6a-дифенилтетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дитиона (**9**), 37% раствора формальдегида и (*S*)-2-аминопропан-1-ола синтезировано трициклическое соединение **14** (схема 4).⁴⁸ Выход не указан.

Схема 4



11 X = O, R¹ = R² = H, R³ = (CH₂)_mCO₂H,

a m = 1, b m = 2, c m = 3

12 X = O, R¹ = R² = CO₂Et, a R³ = (CH₂)₂OH,

b R³ = Bn, c R³ = CH₂C₆H₄Br-*p*, d R³ = Et

13 X = O, R¹ = R² = Ph, R³ = Et

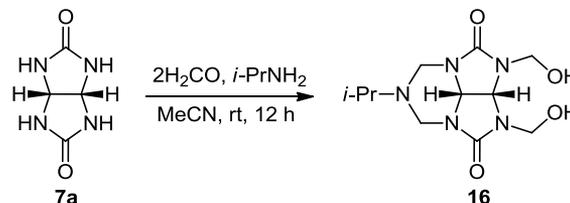
14 X = S, R¹ = R² = Ph, R³ = HO-CH₂-CH₂-Me

15 X = O, R¹ + R² = (CH₂)₄, a R³ = (CH₂)₂OH, b R³ = CH₂CO₂H

Тетрациклы **15a,b** получены в качестве побочных продуктов в реакциях соединения **8b** с (2-гидрокси-этил)амином и *N*-карбамоилглицином (в виде калиевой соли) (схема 4) в условиях аналогичных синтезу пентациклов **6** (H₂O, pH 9, 90 °С, 2 ч).³⁷

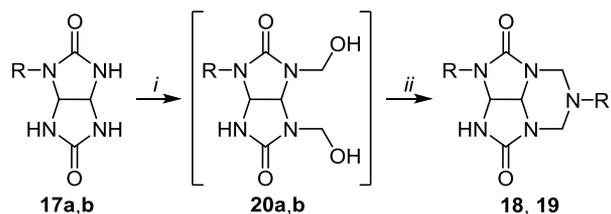
Интересно, что проведение конденсации гликольурилы **7a**, формальдегида и изопропиламина в ацетонитриле при комнатной температуре привело к получению 2,3-бис(гидрокси-метил)-6-изопропилгексагидро-1*H*-2,3,4a,6,7a-пентаазациклопента[*cd*]инден-1,4(2*H*)-диона (**16**) (выход 20%) (схема 5).⁴⁹

Схема 5



В нашей группе впервые были изучены одnoreакторные двустадийные конденсации 1-(*тrem*-бутил)-или 1-циклогексилтетрагидроимидазо[4,5-*d*]имидазол-2,5(1*H*,3*H*)-дионов **17a,b** с формальдегидом и алифатическими аминами (схема 6).¹⁷ В результате были получены 2-замещенные 6-алкилтетрагидро-1*H*-2,3,4a,6,7a-пентаазациклопента[*cd*]инден-1,4(2*H*,3*H*)-дионы **18, 19** с высокими выходами 70–84% (14 примеров) через образование промежуточных соединений **20a,b**.

Схема 6



i: H₂CO (2 equiv), *i*-PrOH-H₂O, 1:1, pH 8–9, 85 °С, 1 h

ii: R¹NH₂, *i*-PrOH-H₂O, 1:1, 85 °С, 1 h

17a, 18 R = *t*-Bu; **17b, 19** R = Cy

18, 19 R¹ = Et, Pr, *n*-Bu, *sec*-Bu, *t*-Bu, Cy, (CH₂)₂OH

3. Синтез макроциклических полиаминов из гликольурилов, диаминов и формальдегида

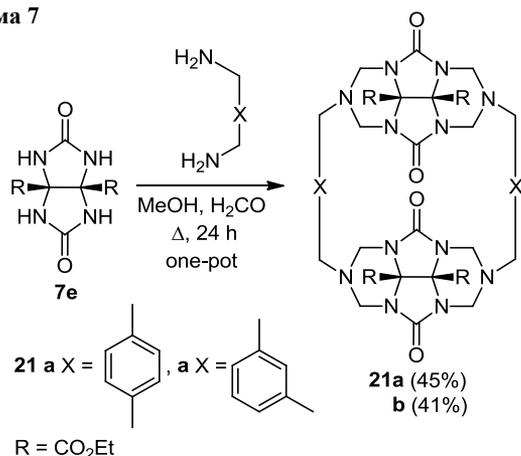
Интерес к макроциклическим полиаминам обосновывается желанием получить новые объекты супрамолекулярной химии, обладающие свойством самораспознавания, и для их синтеза используется наиболее простой подход, аналогичный методу I, – трехкомпонентная конденсация реагентов.

3.1. Синтез макроциклических полиаминов из 3a,6a-диэтоксикарбонилгликольурилы

Макроциклические полиамины **21** получены конденсацией 3a,6a-бис(этоксикарбонил)гликольурилы (**7e**), формальдегида (37% водного раствора) и алифа-

титических диаминов в MeOH при кипячении в течение 24 ч (схема 7).⁸ Выходы продуктов **21a,b** составили 45 и 41% соответственно.

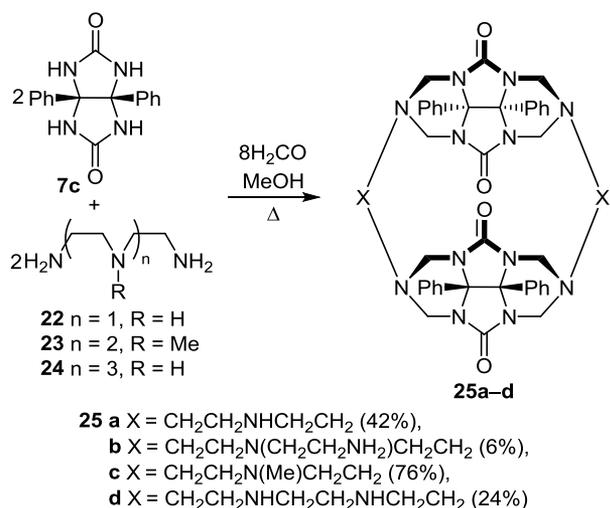
Схема 7



3.2. Синтез макроциклических полиаминов из 3а,6а-дифенилгликольурила

Макроциклические полиамины были синтезированы из 3а,6а-дифенилгликольурила (**7c**), алифатических диаминов **22–24** и формальдегида (схема 8).⁷ Интересно, что при использовании диэтилентриамина **22** было получено два продукта: ожидаемый макроцикл **25a** и неожиданное соединение **25b**. Это направление только начинает развиваться и поэтому полициклические полиамины представлены пока всего 6 примерами.

Схема 8



В целом анализ литературных источников свидетельствует о том, что работы по синтезу конденсированных три-, тетра-, поли- и макроциклических полиаминов, основанном на взаимодействии доступных реагентов (гликольурилов, формальдегида и аминов или аминокислот, а также полиаминов), относятся к достаточно современным исследованиям, которые

продолжают развиваться благодаря практически важным свойствам этих соединений и использованию их в качестве объектов супрамолекулярной химии.

Список литературы

- Barrow, S.J.; Kasera, S.; Rowland, M. J.; del Barrio, J.; Scherman, O. A. *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 12320.
- Svec, J.; Necas, M.; Sindelar, V. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2010**, *49*, 2378.
- Svec, J.; Dusek, M.; Fejfarova, K.; Stacko, P.; Klán, P.; Kaifer, A. E.; Li, W.; Hudeckova, E.; Sindelar, V. *Chem.–Eur. J.* **2011**, *17*, 5605.
- Havel, V.; Svec, J.; Wimmerova, M.; Dusek, M.; Pojarova, M.; Sindelar, V. *Org. Lett.* **2011**, *13*, 4000.
- Singh, M.; Solel, E.; Keinan, E.; Reany, O. *Chem.–Eur. J.* **2015**, *21*, 536.
- Singh, M.; Solel, E.; Keinan, E.; Reany, O. *Chem.–Eur. J.* **2016**, *22*, 8848.
- Liu, S.; Wu, X.; Zhang, S.; Yao, J.; Liang, F.; Wu, C. *New. J. Chem.* **2004**, *28*, 562.
- Li, Y.-T.; Wang, Y.-Z.; Wu, A.-X. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2006**, *E62*, o379.
- Seprödi, J.; Sarkadi, B.; Hegedüs, T.; Kéri, G.; Örfi, L.; Idei, M.; Hollósy, F.; Teplán, I.; Okada, Y. WO Patent 0220527.
- Aumueller, A.; Neumann, P.; Trauth, H. EP Patent 0272588.
- Aumueller, A.; Neumann, P.; Trauth, H. US Patent 4835273 A.
- Вихарев, Ю. Б.; Аникина, Л. В.; Чикунов, И. Е.; Сигачев, А. С.; Кравченко, А. Н.; Шкляев, Ю. В.; Махова, Н. Н. *Вопр. биол., мед. фарм. химии* **2006**, *4(2)*, 12.
- Gao, M.; Cao, L.; Wang, Z.; Sun, J.; She, N.; Wu, A. *Synlett* **2009**, 315.
- Wingard, L. A.; Johnson, E. C.; Sabatini, J. J. *Tetrahedron Lett.* **2016**, *57*, 1681.
- Li, Y.; Meng, X.; Cao, L.; Wang, Y.; Yin, G.; Gao, M.; Wen, L.; Wu, A. *Cryst. Growth Des.* **2008**, *8*, 1645.
- Cao, L.; Meng, X.; Gao, M.; She, N.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. C: Cryst. Struct. Commun.* **2008**, *C64*, o69.
- Lozhkin, B. V.; Sigachev, A. S.; Kravchenko, A. N.; Lyssenko, K. A.; Kolotyrykina, N. G.; Makhova, N. N. *Mendeleev Commun.* **2007**, *17*, 85.
- Savostianoff, D. FR Patent 2291203.
- Salkeeva, L. K.; Shibaeva, A. K.; Bakibaev, A. A.; Taishibekova, E. K.; Minaeva, E. V.; Zhortarova, A. A.; Sal'keeva, A. K. *Russ. J. Gen. Chem.* **2014**, *84*, 338. [*Журн. общ. химии* **2014**, *84*, 344.]
- Li, Y.; Li, J. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2006**, *E62*, o5144.
- Li, Y.; Guo, Q. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2006**, *E62*, o3463.
- Li, Y.; Chen, Y.; She, N.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, *E61*, o3364.
- Li, Y.; Wang, Z.; Yin, G.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, *E61*, o2187.
- Yin, G.; Chen, Y.; Zhou, B.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, *E61*, o2467.
- Yin, G.; Wang, Z.; Chen, Y.; Wu, A.; Pan, Y. *Synlett* **2006**, 49.
- Yin, G.; Zhou, B.; Chen, Y.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, *E61*, o2632.
- Hu, S.; Wang, S.; Cao, L. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2007**, *E63*, o4542.
- Yin, G.; Zhou, B.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, *E61*, o2787.
- Qin, S.; Pang, T.; Li, Y. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2008**, *E64*, o1689.

30. Guo, H.; She, N.; Li, Y. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2006**, E62, o5596.
31. Li, Y.; Zhou, B.; Yin, G.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, E61, o3368.
32. Li, Y.; Wang, Z.; Chen, Y.; Chen, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, E61, o4128.
33. Li, J.; Hu, Y.; Wang, Z. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2007**, E63, o4777.
34. Li, Y.; Long, T.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2005**, E61, o2374.
35. Li, Y.; Wang, Y.; Wu, A. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2006**, E62, o379.
36. Kravchenko, A. N.; Sigachev, A. S.; Gazieva, G. A.; Maksareva, E. Yu.; Trunova, N. S.; Chegaev, K. Yu.; Lyssenko, K. A.; Lyubetsky, D. V.; Struchkova, M. I.; Il'in, M. M.; Davankov, V. A.; Lebedev, O. V.; Makhova, N. N.; Tartakovskiy, V. A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2006**, 42, 365. [*Химия гетероцикл. соединений* **2006**, 411.]
37. Kravchenko, A. N.; Chikunov, I. E.; Lyssenko, K. A.; Baranov, V. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, 50, 1322. [*Химия гетероцикл. соединений* **2014**, 1434.]
38. Chikunov, I. E.; Kravchenko, A. N.; Makhova, N. N. *Mendeleev Commun.* **2007**, 17, 321.
39. Qin, S.; Lib Y. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2006**, E62, o1812.
40. Khairullina, R. R.; Geniyatova, A. R.; Meshcheryakova, E. S.; Khalilov, L. M.; Ibragimov, A. G.; Dzhemilev, U. M. *Russ. J. Org. Chem.* **2015**, 51, 116. [*Журн. орган. химии* **2015**, 51, 118.]
41. Kolb, H. C.; Finn, M. G.; Sharpless, K. B. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2001**, 40, 2004.
42. Wang, Z.; Xi, H. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2009**, E65, o1426.
43. Wu, Y.; Sun, Y. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2009**, E65, o1715.
44. Deng, C.; Shu, W.; Zhang, D. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2010**, E66, o1524.
45. Li, Y. T.; Li, J.; Wen, L. L. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2007**, E63, o287.
46. Cao, L.; Wang, Z.; Hu, Y. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2007**, E63, o4540.
47. Cao, L. P.; Wang, Z. G.; Hu, Y. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2007**, E63, o4740.
48. Wang, M.; Wang, J.; Xiang, J. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2011**, E67, o2060.
49. Xi, H. L.; Gao, M.; Cao, L.-P.; Li, Y.-T. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* **2007**, E63, o400.