

* А. А. Бакибаев¹, С.И. Горбин², А.Н. Гусляков³, В.С. Мальков⁴,
А.Э. Ухов⁵, К.Б. Жуманов⁶, А.А. Губанков⁷

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия
(E-mail: ¹bakibaev@mail.ru*, ²gorbinsergey@gmail.com, ³guslyakov.aleksej@bk.ru³,
⁴malkov.tsu@yandex.ru, ⁵artyryxov1@gmail.com, ⁶zhumanovk@mail.ru,
⁷gubankov_a@mail.ru)

Методы синтеза фосфорилированных гликольбурилов

Аннотация. Фосфорсодержащие соединения нашли широкое применение в разных областях. В сельскохозяйственной деятельности эти соединения применяют как пестициды; известно также их использование в качестве антипиренов. В медицине данные соединения могут применяться как противоопухолевые препараты и антибиотики. В свою очередь в организме человека фосфорсодержащие соединения входят в состав различных ферментов. Вещества, содержащие фосфор, соединённые с атомом азота через углерод, вызывают большой интерес у исследователей. С их помощью возможно получение аналогов аминокислот, содержащих фосфор. Такие соединения могут выступать в качестве антипиреновой добавки или проявлять биологическую активность.

В свою очередь химия циклических мочевины, прежде всего, благодаря доступности и полифункциональности последних, претерпела бурное развитие в различных сферах человеческой деятельности.

Одним из прогрессирующих направлений развития химии гликольбурилов является синтез и исследование на их основе фосфорсодержащих соединений. Одновременное сочетание фрагментов мочевины и фосфорильных групп в молекуле позволяет придать целевому веществу специфические полезные свойства, что является предметом широкого обсуждения методов получения фосфорилированных мочевины.

В данной статье рассмотрены основные области применения гликольбурилов и их производных. Помимо этого, собраны и рассмотрены различные методы получения фосфорилированных производных гликольбурилов. Также был проведен анализ имеющихся литературных данных по синтезу и свойствам ряда фосфорорганических гликольбурилов.

Ключевые слова: гликольбурил, мочевины, фосфорорганические производные, фосфорилированные гликольбурилы.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2023-145-4-50-60>

Введение

Химия циклических мочевины, прежде всего, благодаря доступности и полифункциональности последних, претерпела бурное развитие в различных сферах человеческой деятельности.

Разработку и совершенствование известных методов синтеза и функционализации моноциклических азотсодержащих гетероциклов во многом стимулирует их известное участие в деятельности человека. Например, среди циклических соединений на основе фосфорилированных мочевины встречаются полимерные соединения [1] и препараты с высокой пестицидной, антихолинэстеразной, противовирусной и противомикробной

активностью [2]. В химии бициклических бисмочевин гликольурил занимает особое место среди азотсодержащих гетероциклических соединений, прежде всего благодаря каркасному строению и наличию многофункциональных реакционных центров. Среди фосфорилированных бициклов известна 2,6-диацетил-гликольурилдифосфоновая кислота, которую используют в качестве модификатора электрода для количественного определения холестерина методом вольтамперометрии [3].

Такое широкое применение и актуальность исследований создает новые возможности применения различных производных гликольурила. Одним из прогрессирующих направлений развития химии гликольурилов является синтез и исследование на их основе фосфорсодержащих соединений. Одновременное сочетание фрагментов мочевины и фосфорильных групп в молекуле позволяет придать целевому веществу специфические полезные свойства, что является предметом широкого обсуждения методов получения фосфорилированных мочевины [4, 5].

Поскольку на сегодняшний день в доступной литературе отсутствуют сведения, обобщающие методы синтеза и исследования химических свойств фосфорилированных гликольурилов, в данной работе проведена систематизация знаний в этой области, что послужило основанием для написания данной работы.

Обсуждение

Совокупный анализ имеющихся литературных данных показал, что в последнее время расширяется круг сведений о реакциях фосфорилирования 2,4,6,8-тетраазабицикло[3.3.0.]октан-3,7-диона-(гликольурила) **1**.

Гликольурил **1** – это продукт бициклизации мочевины, но, в отличие от мочевины, гликольурил **1** полифункционален. Гликольурил **1** имеет четыре донорные группы (-NH) и две акцепторные (C=O) группы. По химическим свойствам гликольурил **1** является типичным N-нуклеофилом и легко способен вступать в реакции N - фосфорилирования.

Авторами [7] была исследована реакция переамидирования с использованием гликольурила **1** и тетраэтилдиамидо-трет-бутилфосфита **2**, приводящая к образованию гликоурилзамещенного диэтиламидо-трет-бутилфосфита **3** (схема 1). Реакцию проводили нагреванием в соотношении 1 : 2 массы гликольурила **1** и тетраэтилдиамидотрет-бутилфосфита **2** соответственно в среде этилацетата. Такое соотношение позволяет скоординироваться двум молекулам трет-бутилфосфита **2** к двум аминогруппам (положения 2, 6). При этом сохраняется валентность атома фосфора, что вызывает значительный интерес к данному продукту для дальнейших исследований.

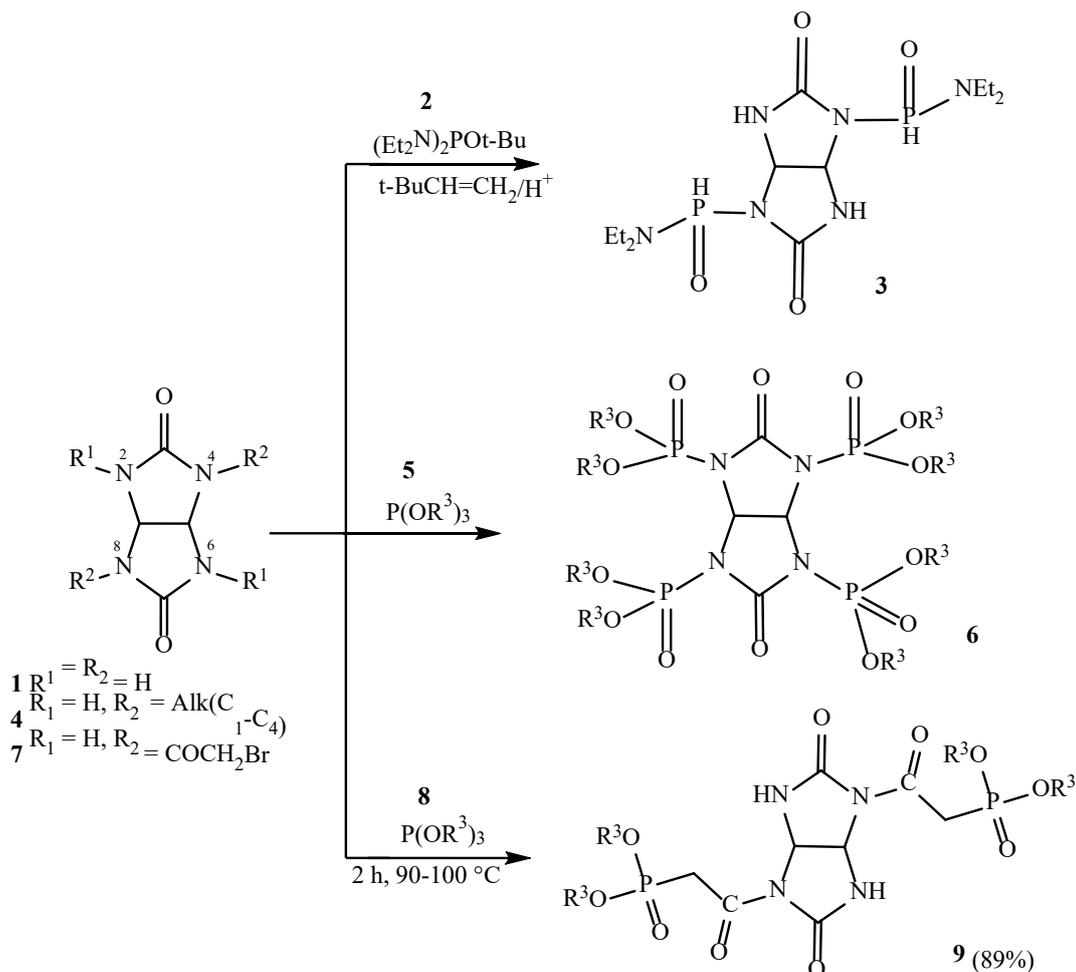


Схема 1 Реакции фосфорилирования гликольурилы 1.

В серии китайских патентов [8-10] описаны огнезащитные добавки – N-фосфорилированные производные гликольурилы **5** и их способы получения на основе N-алкилпроизводных гликольурилы **4** (схема 1). Данные соединения являются отличными азот-фосфор синергетичными антипиренами.

Высокая нуклеофильность атома фосфора обеспечивается наличием неподеленной электронной пары атома фосфора, а также донорным эффектом алкильных групп, способствующих легкости протекания второй стадии реакции Арбузова – дезалкилирования.

Авторами [11] был получен 2,6-ди(1-диэтилфосфоацетил)2,4,6,8-тетраазобицикло[3.3.0]октан-3,7-дион **9** реакцией фосфорилирования 2,6-ди(1-бромацетил)-2,4,6,8-тетраазобицикло[3.3.0]октан-3,7-диола **7** с эквимольным количеством триэтилфосфита **8**.

Фосфоновые кислоты обладают значительной биологической активностью в сравнение с их эфирами, что вызывает определенный интерес к таким структурам. Авторами [11] был проведен кислотный гидролиз дифосфоната **9** с трибромсиланом в ацетонитриле, приводящий к соответствующей дифосфоновой кислоте **10** (схема 2).

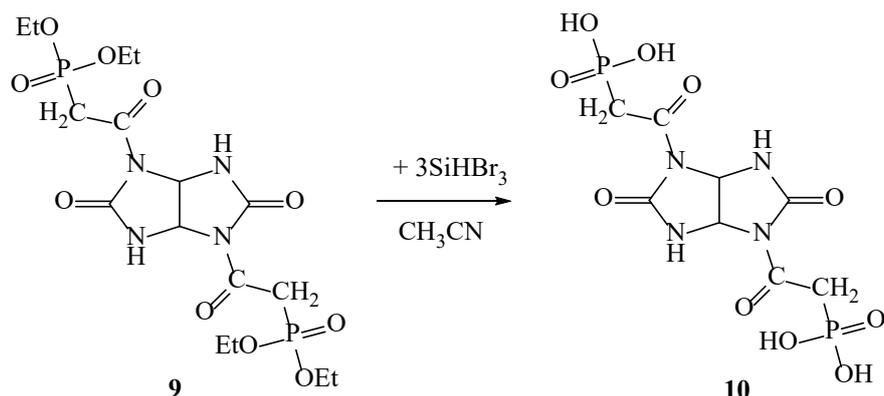


Схема 2 Кислотный гидролиз дифосфоната 9 с трибромсиланом.

Дифосфоновый комплекс тераацетилгликольбурила – дигексахлорофосфат 2,6-ди-(4,8-диацетил-2,4,6,8-тетраазабицикло[3.3.0]октан-3,7-дион)-2,6-ди-(хлор-этилендихлорфосфония) **12** был получен в работе [12]. Последний **12** представляет собой белое кристаллическое, неустойчивое на воздухе соединение, полученное по реакции фосфорилирования 2,4,6,8-тетраацетил-2,4,6,8-тетраазабицикло[3,3,0]октан-3,7-диона **11** пентахлоридом фосфора (схема 3).

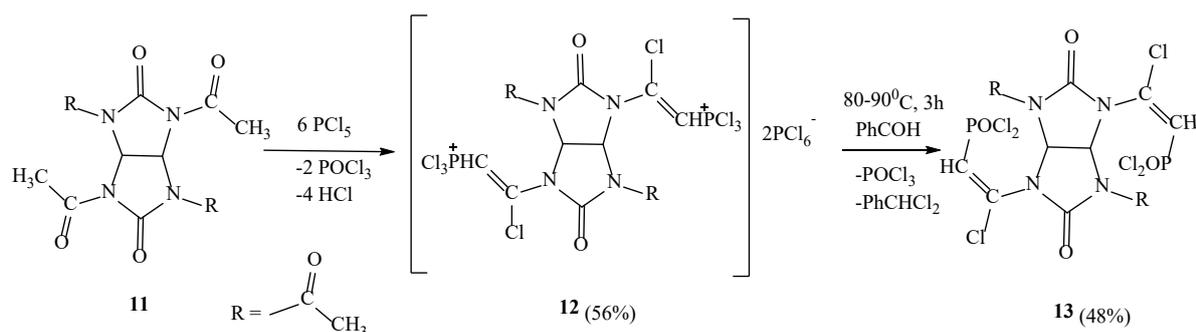


Схема 3 Реакция фосфорилирования 2,4,6,8-тетраацетил-2,4,6,8-тетраазабицикло[3,3,0]октан-3,7-диона **11** пентахлоридом фосфора.

Было замечено, что реакция протекает при нагревании в атмосфере аргона в трихлорметане, в соотношении: на 1 моль 2,4,6,8-тетраацетил-2,4,6,8-тетраазабицикло[3,3,0]октан-3,7-диона **11** – 6 моль пентахлорида фосфора.

Очевидно, реакция протекает через стадию присоединения пентахлорида фосфора по атому кислорода ацетильной группы, с образованием комплекса **12**, который далее разлагается бенальдегидом до продукта **13** (схема 3).

Реакцию фосфорилирования тетра-N-метилгликольбурила **14** тетраэтиламдотрет-бутилфосфитом **2** авторы [13] проводили в среде этилацетата с одновременной отгонкой дэтиламина. В результате был выделен маслянистый продукт 2,6-ди-(N-диэтиламидометилфосфато)-2,4,6,8-тетраазабицикло[3.3.0.]октан-3,7-дион **16** через образование промежуточного соединения **15** (схема 4).

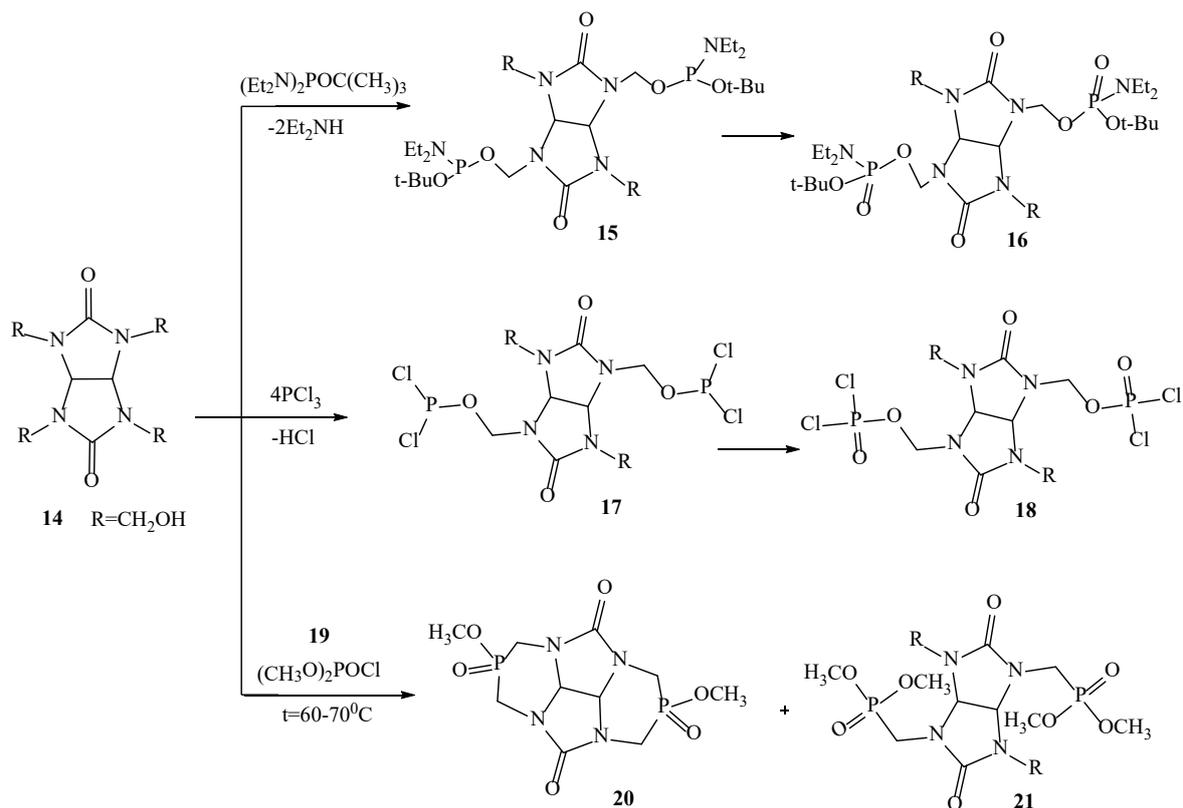


Схема 4 Реакции фосфорилирования тетра-N-метилолгликольурилы 14.

В дальнейшем изучении реакционной способности тетра-N-метилолгликольурилы **14** в реакциях фосфорилирования было проведено [10] его взаимодействие с треххлористым фосфором (схема 4). Фосфорилирование приводилось в достаточно мягких условиях в среде гексана при нагревании раствора. Выделенное кристаллическое вещество желтого цвета 2,6-ди-(N-метилхлорфосфато)-4,8-хлорметил-2,4,6,8-тетраазобицикло[3.3.0.]октан-3,7-дион **18** – продукт, полученный после окисления фосфорных фрагментов в соединении **17** до пятивалентного состояния (схема 4).

Известно [12], что в ряду соединений трехвалентного фосфора эфирами фосфористых кислот достаточно легко обменивают амидогруппу под действием спиртов, аминов и фенолов. Подобный способ очень удобен для получения труднодоступных в прямом синтезе амидофосфитов.

Проведение реакции **14** в среде абсолютного бензола с двумя эквивалентами диметоксихлорфосфата **19** и пиридина в качестве акцептора хлористого водорода привело к образованию смеси продуктов **20** и **21** (схема 4). Реакция протекает с сильным разогреванием, требующем значительного охлаждения. Структуры синтезированных соединений **20** и **21** были доказаны с привлечением данных ИК-, ЯМР-спектров [13].

Сравнительно недавно коллективом иранских исследователей опубликована работа [14], в которой авторами сообщается о синтезе гликольурилы **23** путем трехкомпонентной реакции гликольурилы **1**, параформальдегида и фосфористой кислоты (**22**) в этаноле в присутствии соляной кислоты (схема 5). Данный гликольурил (**23**) был использован в дальнейшем в качестве катализатора в мультикомпонентном синтезе производных 3-метил-1,4-дифенил-1,4дигидробензо[6,7]хромено[2,3-с]пиразол-5,10-диона.

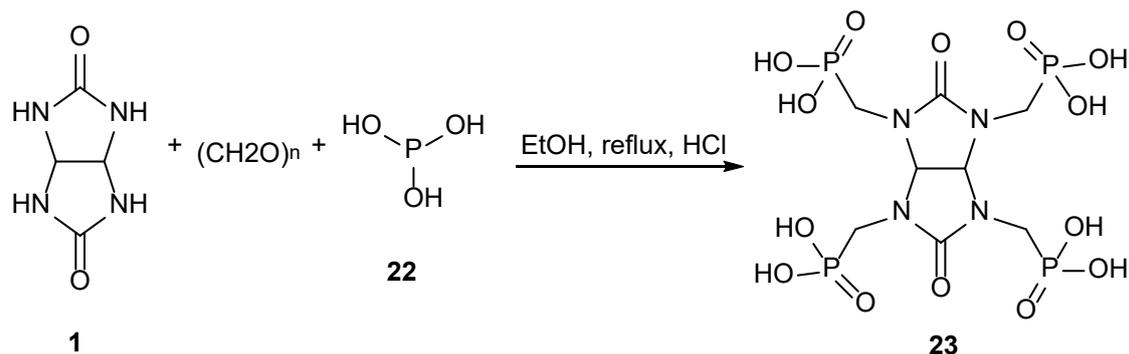


Схема 5 Синтез гликольурила 23.

Дальнейшие исследования авторов были направлены на получения нано-катализаторов на основе **23**. Так, в работе [15] авторы описывают способ получения комплекса гликольурила **23** с Fe_3O_4 и его применение в качестве катализатора в многокомпонентной реакции с целью получения производных дифенилникотинитрила.

Реакция 1,3,4-триметилгликольурила, алифатических альдегидов и трифенилфосфита в присутствии метансульфоновой кислоты дает новые фосфорсодержащие производные гликольурила. Авторами [16] была проведена реакция 1,3,4-триметилгликольурила **24**, трифенилфосфита **26** и алифатических альдегидов **25a-d** (схема 6), что приводит к образованию рацемических смесей диастереомеров 1-[1-(дифеноксифосфорил) алкил]-3,4,6-триметилгликольурилов **27a-d**. Выбор трифенилфосфита обусловлен более высокой реакционной способностью арилфосфитов по сравнению с алкилфосфитами и алкилхлорофосфитами.

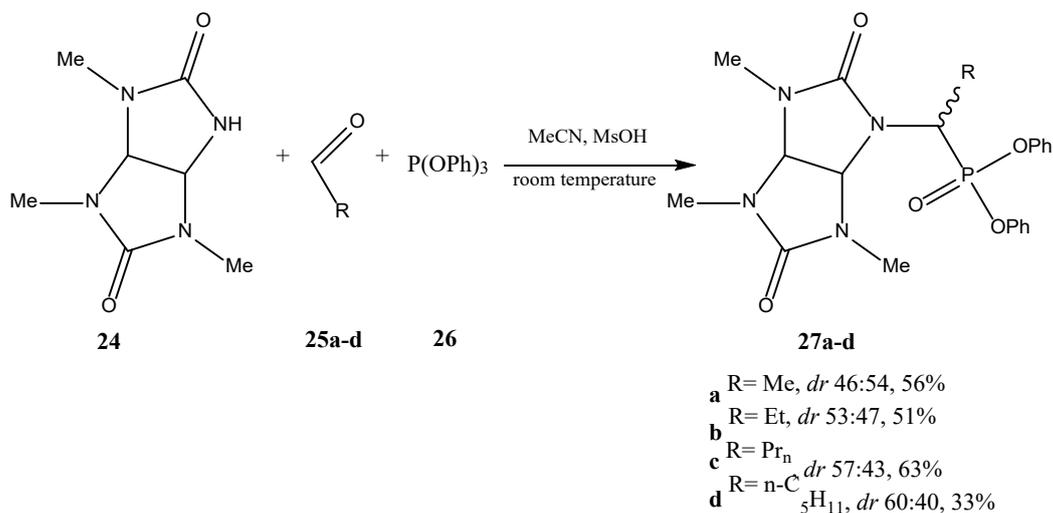


Схема 6 Реакция 1,3,4-триметилгликольурила, алифатических альдегидов и трифенилфосфита в присутствии метансульфоновой кислоты.

С целью дальнейшего развития способа введения фосфонатной группы в молекулу гликольурила авторы работы [17] расширили круг используемых альдегидов в трехкомпонентной реакции 1,3,4-триметилгликольурила, альдегида и трифенилфосфита бензальдегидом и его производными с заместителями (NO_2 , OH) в различных положениях. Авторами были выделены и охарактеризованы образующиеся в ходе реакции

индивидуальные диастереомеры фосфонатпроизводных 1,3,4-триметилгликольурилы **28e'-j'** и **28e''-j''**. Примечательно, что реакция 1,3,4-триметилгликольурилы с описанными в работе [15] бензальдегидами и трифенилфосфитом протекает с диастереомерным избытком (схема 7).

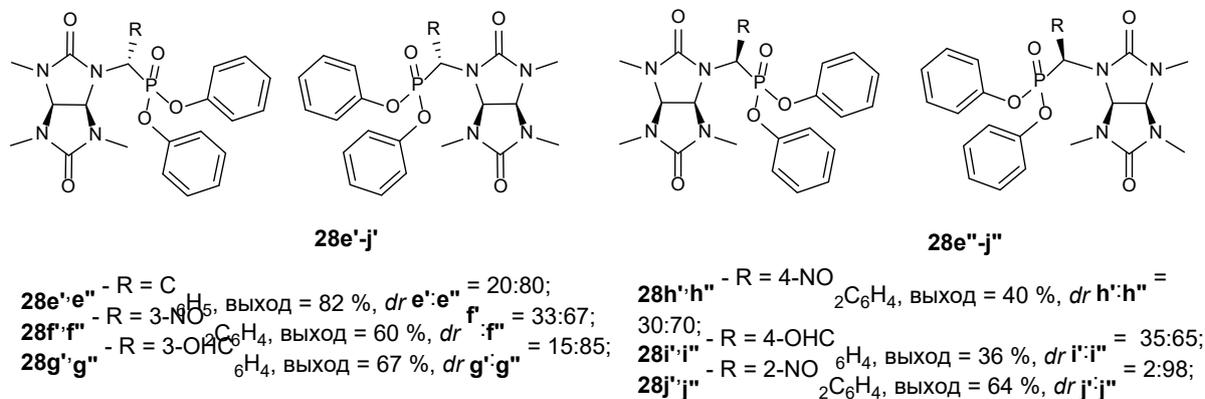


Схема 7 Диастереомерные избытки.

Заключение

Таким образом, нами проведен анализ имеющихся литературных данных по синтезу и свойствам ряда фосфорорганических гликольурилов, т.к. к настоящему времени отсутствуют обзорные материалы, посвященные данному вопросу.

Список литературы

1. Guven N., Akyol M., Demir E., Duman F. (et al.) Urea dimethacrylates functionalized with bisphosphonate/bisphosphonic acid for improved dental materials //Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. – 2017. – Vol. 55. – № 19. – P. 3195–3204.
2. Naydenova E., Todorov P., Troev K. Synthesis and Characterization of Novel Cycloalkanespiro-5-Hydantoin Phosphonic Acids //Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements. – 2010. – Vol. 185. – № 7. – P. 1315–1320.
3. Пат. 2629836 Российская Федерация, МПК G01N 33/49, G01N 27/48. Вольтамперометрический способ определения общего холестерина в биологических объектах [Текст] / Воронова О.А., Дёрина К.В., Дорожко Е.В., Короткова Е.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – № 2016137495; заявл. 19.09.16; опубл. 04.09.17.
4. Пудовик М., Кибардина Л., Саакян Г., Хайлова Н., Шаймарданова А., Крепышева Н., Пудовик А. Фосфорилирование этилуретана, мочевины, ацетамида бис(хлорметил)хлорфосфинатом в присутствии поташа //Журнал общей химии. – 2002. – Т. 72. № 7. – С. 1157-1159.
5. Markalous F., Jerman Z., Beránek J., Černík M., Toužín J. Über Phosphorsäureureide //Collection of Czechoslovak Chemical Communications. – 1972. – Vol. 37. – № 3. – P. 725–734.
6. Ma X.-B., Zhang J.-L. New derivatives of 4,5-benzo-1,3,2-oxaza (or d1aza)-phospholane from convenient condensation of substituted urea with tris(dialkylamino)phosphine // Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements. - 1990. – Vol. 53. №. 1-4.- P. 227-231.
7. Wang Y. Fire retardant 4-(0,0-dimethyl phosphoryl) glycoluril compound and preparation method thereof / Y. Sheng. – Pat. CN103387590A. - 2013.
8. Wang Y. Fire retardant tetra4-(0,0-dibutyl-phosphoryl)glycoluril compound and preparation method thereof / Y. Sheng. – Pat. CN103396450A. - 2013.

9. Wang Y. Flame retardant tetra(0,0-diisopropylphosphoryl)glycoluril compound and preparation method thereof / Y. Wang, Y. Sheng. – Pat. CN103387590A. - 2013.
10. Тайшибекова Е.К. Фосфорорганические производные на основе аминотиазолов и гликольурила. [Текст]: дис. ... д-ра философии РНД: 6D060600-Химия / Е.К. Тайшибекова. - Караганда, 2015. - 167 с. - Библиогр.: с. 129-143.
11. Корбридж Д. Фосфор: Основы химии, биохимии, технологии. Москва: Мир – 1982. – 680 с.
12. Салькеева Л.К., Тайшибекова Е.К. и др. Синтез и исследование полифункциональных производных гликольурила // Вестник КарГУ. Серия «Химия». – 2016. – Т. 84, №. 4. – С. 14-20.
13. Moradi S., Zolfigol M.A., Zarei M., Alonso D.A. Khoshnood Synthesis of a Biological-Based Glycoluril with Phosphorous Acid Tags as a New Nanostructured Catalyst: Application for the Synthesis of Novel Natural Henna-Based Compounds //Chemistry Select. – 2018. – Vol. 3. – P. 3042.
14. Danishyar B., Sepehrmansourit H., Zarei M., Zolfigol M.A., As’Habi M.A., Gu Y. Synthesis and Application of Novel Magnetic Glycoluril Tetrakis(Methylene Phosphorous Acid) as a Nano Biological Catalyst for the Preparation of Nicotinonitriles via a Cooperative Vinylogous Anomeric-Based Oxidation. //Polycyclic Aromatic Compounds. – 2022. – Vol. 43. – P. 6837–6857.
15. Gorbin S., Bakibaev A., Kurgachev D., Malkov V., Novolokov K., Sysoev G. Synthesis of 1-[1-(diphenoxyphosphoryl)alkyl]-3,4,6-trimethylglycolurils. //Mendeleev Communications. – 2023. – Vol. 33. – P. 1–2.
16. Gorbin S., Bakibaev A., Tuguldurova V., Kotov A., Sysoev G., Potapov A., Pavlov D., Malkov V., Knyazev A., Kurgachev D. (et al.) Synthesis of Novel Phosphorus Containing Derivatives of 1, 3, 4-Trimethylglycoluril via the Birum–Oleksyszyn Reaction. //International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24. – P. 17082.

А. А. Бакибаев, С.И. Горбин, А.Н. Гусляков, В.С. Мальков, А.Э. Ухов, К.Б. Жуманов, А.А. Губанков

Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті, Томск, Ресей

Фосфориденген гликолуриллерді синтездеу әдістері

Аңдатпа. Құрамында фосфор бар қосылыстар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Ауылшаруашылық қызметінде бұл қосылыстар пестицидтер ретінде қолданылады; оларды отқа төзімді заттар ретінде қолдану да белгілі. Медицинада бұл қосылыстарды ісікке қарсы препараттар мен антибиотиктер ретінде қолдануға болады. Өз кезегінде адам ағзасында құрамында фосфор бар қосылыстар әртүрлі ферменттердің құрамына кіреді. Құрамында көміртегі арқылы азот атомымен байланысқан фосфор бар заттар зерттеушілердің үлкен қызығушылығын тудырады. Олардың көмегімен құрамында фосфор бар аминқышқылдарының аналогтарын алуға болады. Мұндай қосылыстар жалынға қарсы қоспа ретінде әрекет етуі немесе биологиялық белсенділікті көрсетуі мүмкін.

Өз кезегінде циклдік мочевина химиясы, ең алдымен, соңғысының қол жетімділігі мен полифункционалдылығының арқасында адам қызметінің әртүрлі салаларында қарқынды дамудан өтті.

Гликольурил химиясының дамуының прогрессивті бағыттарының бірі - олардың негізінде фосфор бар қосылыстарды синтездеу және зерттеу. Молекуладағы мочевина фрагменттері мен фосфорил топтарының бір мезгілде үйлесуі мақсатты затқа белгілі бір пайдалы қасиеттер беруге мүмкіндік береді, бұл фосфорланған мочевиналарды алу әдістері туралы кеңінен талқыланатын тақырып.

Бұл мақалада гликольуриллер мен олардың туындыларын қолданудың негізгі бағыттары қарастырылған. Сонымен қатар, гликольурилдің фосфорланған туындыларын алудың әртүрлі әдістері жиналып, қарастырылады. Сондай-ақ бірқатар фосфорорганикалық гликольуриллердің синтезі мен қасиеттері туралы қолда бар әдеби деректерге талдау жүргізілді.

Түйін сөздер: гликолурил, мочевина, фосфорорганикалық туындылар, фосфорланған гликолуриллер.

**A.A. Bakibaev, S.I. Gorbin, A.N. Guslyakov, V.S. Malkov, A.E. Ukhov, K.B. Zhumanov,
A.A. Gubankov**

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Methods for synthesis of phosphorylated glycolurils

Abstract. Phosphorus-containing compounds have found widespread use across diverse fields. In agriculture, these compounds serve as pesticides, and their application as flame retardants is well-documented. In the realm of medicine, they exhibit potential as antitumor drugs and antibiotics, while within the human body, phosphorus-containing compounds play integral roles in various enzymes. Compounds with phosphorus linked to the nitrogen atom through carbon have garnered significant attention from researchers, offering the possibility of generating phosphorus-containing analogs of amino acids. These compounds can function as flame retardants or showcase biological activity.

Concurrently, the chemistry of cyclic urea has experienced rapid development in various domains, primarily attributed to its accessibility and multifunctionality. A progressive avenue in glycoluril chemistry involves the synthesis and exploration of phosphorus-containing compounds derived from it. The combination of urea fragments and phosphoryl groups in the molecule imparts specific and beneficial properties to the resulting substance. This integration is extensively discussed in methods for obtaining phosphorylated urea.

This article delves into the principal applications of glycolurils and their derivatives. Additionally, it compiles and examines various methodologies for synthesizing phosphorylated glycoluril derivatives. The analysis extends to existing literature data on the synthesis and properties of numerous organophosphorus glycolurils.

Keywords: glycoluril, urea, organophosphorus derivatives, phosphorylated glycolurils.

References

1. Guven N., Akyol M., Demir E., Duman F. (et al.) Urea dimethacrylates functionalized with bisphosphonate/bisphosphonic acid for improved dental materials. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 55(19). 3195–3204(2017).
2. Naydenova E., Todorov P., Troev K. Synthesis and Characterization of Novel Cycloalkanespiro-5-Hydantoin Phosphonic Acids. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 185(7).1315–1320(2010).
3. Pat. 2629836 Rossijskaya federaciya, MPK G01N 33/49, G01N 27/48. Vol'tamperometricheskij sposob opredeleniya obshchego holesterina v biologicheskikh ob»ektah [Tekst] / Voronova O.A., Dyorina K.V., Dorozhko E.V., Korotkova E.I.; zayavitel' i patentoobladatel' federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet». – № 2016137495 ; zayavl. 19.09.16; opubl. 04.09.17.
4. Pudovik M., Kibardina L., Saakyan G., Hajlova N., SHajmardanova A., Krepysheva N., Pudovik A. Fosforilirovanie etiluretana, mocheviny, acetamida bis(hlormetil)hlorfosfinatom v prisutstvii potasha. *ZHurnal Obshchej himii*[Phosphorylation of ethylurethane, urea, acetamide with bis(chloromethyl) chlorophosphinate in the presence of potash. *Journal of General Chemistry*].72(7).1157-1159(2002).
5. Markalous F., Jerman Z., Beránek J., Černík M., Toužín J. Über Phosphorsäureureide. *Collection of Czechoslovak Chemical Communications*, Vol. 37, No. 3, 1972. P. 725–734.
6. Ma X.-B., Zhang J.-L. New derivatives of 4,5-benzo-1,3,2-oxaza (or d1aza)-phospholane from convenient condensation of substituted urea with tris(dialkylamino)phosphine. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 53 (1-4). 227-231(1990).
7. Wang Yanlin, Yan Sheng. Fire retardant 4-(0,0-dimethyl phosphoryl) glycoluril compound and preparation method thereof, CN103387590A, 2013.
8. Wang Yanlin, Yan Sheng. Fire retardant tetra(0,0-dibutyl-phosphoryl)glycoluril compound and preparation method thereof, CN103396450A, 2013.

9. Van Yanlin, Yan Shen. Flame retardant tetra(0,0-diisopropylphosphoryl)glycoluril compound and preparation method thereof, CN103387590A, 2013.
10. Tajshibekova E.K. Fosfororganicheskie proizvodnye na osnove aminotiazolov i glikol'urila [Organophosphorus derivatives based on aminothiazoles and glycoluril]: dis. ... d-ra filosofii PHD: 6D060600-Himiya - Karaganda, 2015. - 167 p. - Bibliogr.: p. 129-143.
11. Korbridzh D. Fosfor: Osnovy himii, biohimii, tekhnologii [Phosphorus: Fundamentals of chemistry, biochemistry, technology]. (Moskva, Mir, 1982, 680 p.)
12. Sal'keeva L.K., Tajshibekova E.K. i dr. Sintez i issledovanie polifunkcional'nyh proizvodnyh glikol'urila. Vestnik KarGU, Seriya «Himiya» [Synthesis and study of polyfunctional derivatives of glycoluril. Bulletin of KarSU. Series "Chemistry"]. 84 (4). 14-20(2016).
13. Moradi S., Zolfigol M.A., Zarei M., Alonso D.A. Khoshnood Synthesis of a Biological-Based Glycoluril with Phosphorous Acid Tags as a New Nanostructured Catalyst: Application for the Synthesis of Novel Natural Henna-Based Compounds. Chemistry Select. 3. 3042(2018).
14. Danishyar B., Sepehrmansourit H., Zarei M., Zolfigol M.A., As'Habi M.A., Gu Y. Synthesis and Application of Novel Magnetic Glycoluril Tetrakis(Methylene Phosphorous Acid) as a Nano Biological Catalyst for the Preparation of Nicotinonitriles via a Cooperative Vinylogous Anomeric-Based Oxidation. Polycyclic Aromatic Compounds. 43. 6837–6857(2022).
15. Gorbin S., Bakibaev A., Kurgachev D., Malkov V., Novolokov K., Sysoev G. Synthesis of 1-[1-(diphenoxyphosphoryl)alkyl]-3,4,6-trimethylglycolurils. Mendeleev Communications. 33. 1–2(2023).
16. Gorbin S., Bakibaev A., Tuguldurova V., Kotov A., Sysoev G., Potapov A., Pavlov D., Malkov V., Knyazev A., Kurgachev D. (et al.) Synthesis of Novel Phosphorus Containing Derivatives of 1,3,4-Trimethylglycoluril via the Birum–Oleksyszyn Reaction. International Journal of Molecular Sciences. 24. 17082(2023).

Сведения об авторах:

Бакибаев Абдигали Абдиманович – автор для корреспонденции, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории органического синтеза ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Горбин Сергей Игоревич – аспирант, заведующий лабораторией полимеров и композиционных материалов ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Гусляков Алексей Николаевич – аспирант, младший научный сотрудник в центре исследований в области материалов и технологий ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Мальков Виктор Сергеевич – кандидат химических наук, заедующий лабораторией органического синтеза ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Ухов Артур Эдуардович – аспирант, лаборант центра исследований в области материалов и технологий ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Жуманов Кайрат Берикболатулы – соискатель лаборатории органического синтеза ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск.

Губанков Александр Александрович – магистрант, лаборант центра исследований в области материалов и технологий ХФ ТГУ, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Bakibaev Abdigali Abdimanovich – corresponding author, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Organic Synthesis of the Chemistry Faculty of TSU, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.

Gorbin Sergey Igorevich – graduate student, head of the laboratory of polymers and composite materials of the Faculty of TSU, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.

Guslyakov Aleksey Nikolaevich – graduate student, junior researcher at the Center for Research in the Field of Materials and Technologies of the Faculty of TSU, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.

Malkov Viktor Sergeevich – Candidate of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Organic Synthesis of the TSU Chemical Department, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.

Ukhov Artur Eduardovich – graduate student, laboratory assistant at the Center for Research in the Field of Materials and Technologies of the Faculty of TSU, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.

Zhumanov Kairat Berikbolatuly – applicant at the Laboratory of Organic Synthesis of the Chemistry Faculty of TSU, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.

Gubankov Aleksandr Aleksandrovich – master’s student, laboratory assistant at the Center for Research in the Field of Materials and Technologies of the Faculty of TSU, 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).