

Юбилею А. Ф. Пожарского, который внес большой вклад
в наше становление как ученых, посвящается

А. В. Аксенов*, И. В. Аксенова

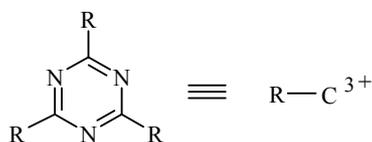
**ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКЦИЙ РАСКРЫТИЯ ЦИКЛА
1,3,5-ТРИАЗИНОВ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ
(ОБЗОР)**

Обобщены литературные данные по реакциям рециклизации 1,3,5-триазинов. В основе классификации лежат фрагменты молекул 1,3,5-триазинов, используемые в построении новых гетероциклов.

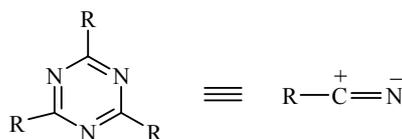
Ключевые слова: азапирены, амидины, имидазолы, оксазолы, перимидины, пиридины, пиримидины, тиазолы, 1,3,5-триазины, *пери*-аннелирование, ацилирование, гетероциклизация, рециклизация, формилирование.

Хорошо известно, что 1,3,5-триазин подвергается раскрытию кольца под действием различных нуклеофильных реагентов, выступая предшественником формильной группы. Это свойство и определило его применение в органическом синтезе. Именно таким реакциям посвящен обзор.

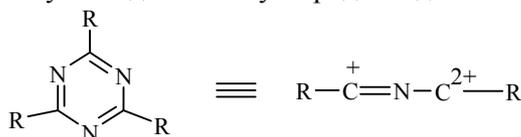
Теоретически, 1,3,5-триазины могут выступать в качестве источника:
1) $-CR=$, при этом в построении новых молекул используется атом углерода триазина



2) $-CR=N-$, используются атом углерода и азота

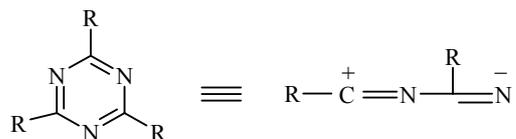


3) $-CR=N-CR=$, используются два атома углерода и один атом азота

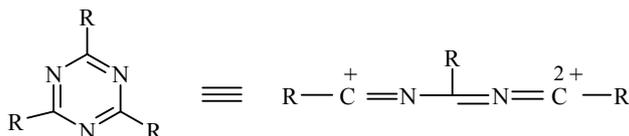


* Здесь и далее в номере фамилия автора, с которым следует вести переписку, отмечена звездочкой.

4) $-\text{CR}=\text{N}-\text{CR}=\text{N}-$, используются два атома углерода и два атома азота



5) $-\text{CR}=\text{N}-\text{CR}=\text{N}-\text{CR}=\text{N}-$, используются три атома углерода и два атома азота

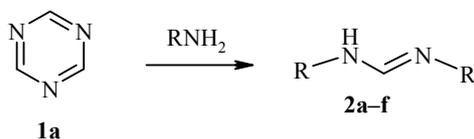


Собственно говоря, все известные реакции 1,3,5-триазинов с нуклеофильными реагентами, протекающие с раскрытием цикла, представляют собой один из приведенных случаев. Рассмотрим их по порядку.

1. Реакции, в которых 1,3,5-триазины являются источником атома углерода

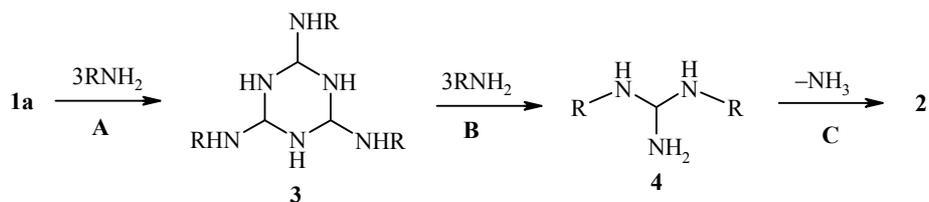
Такие реакции соответствуют первой схеме. Они протекают достаточно тривиально. В случае монофункциональных нуклеофильных реагентов в реакции может участвовать одна молекула нуклеофильного реагента (1,3,5-триазины являются источником $-\text{CR}=\text{N}-$) – это из другого раздела или две ($-\text{CR}=\text{N}-$), причем в последнем случае это могут быть две молекулы одного и того же реагента или разных. С бинуклеофилами результат зависит от взаимного расположения нуклеофильных центров. В случае 1,4- и 1,5-бинуклеофилов, а также с небольшим выходом для 1,6-бинуклеофилов, происходит гетероциклизация с замыканием пяти-, шести- или семичленного цикла [1]. С 1,7-бинуклеофилами и т. д. образуются полимеры [2]. В качестве нуклеофилов выступают амины, аммиак и амиды, гидроксилламин, соединения с активной метиленовой группой, ароматические субстраты и др.

Взаимодействие 1,3,5-триазина **1a** с аминами обычно протекает с раскрытием триазинового цикла и образованием соответствующих амидинов **2** [1, 3–6].

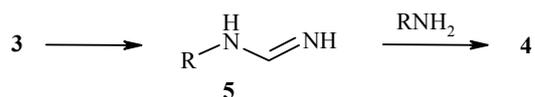


2 a R = Bu, **b** R = Me(CH₂)₆, **c** R = Me(CH₂)₁₁, **d** R = Ph, **e** R = PhCH₂, **f** R = C₆H₁₁

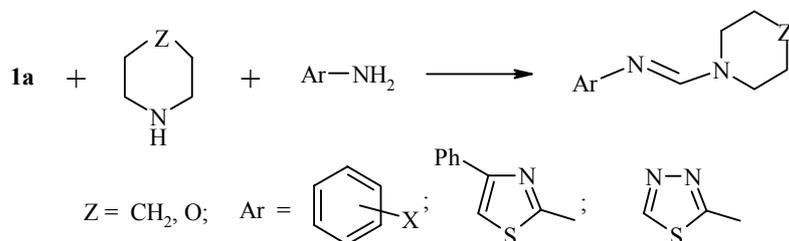
Выход близок количественному (84–100%) [1]. С замещенными триазинами, также как и при использовании вторичных аминов, реакция не идет [1]. Авторами был предложен следующий механизм реакции [1]:



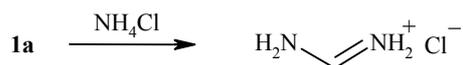
В этом механизме сомнение вызывает стадия **В**. Более вероятно, что сначала образуется монозамещенный амидин **5**, а из него соединение **4**.



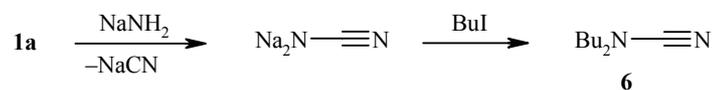
В работах [4–6] демонстрируется возможность применения в этой реакции двух различных аминов, первичного и вторичного.



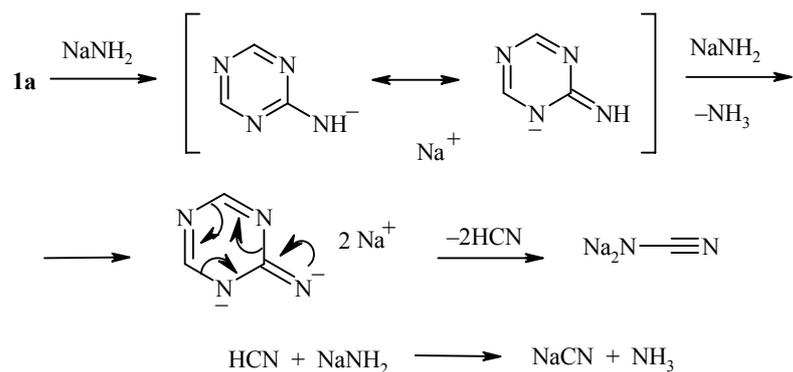
С аммиаком реакция протекает аналогично [20], но из-за неустойчивости в виде свободного основания при температурах выше 100 °С продукт разлагается. При использовании вместо аммиака соли аммония выход гидрохлорида формамидина близок количественному [7].



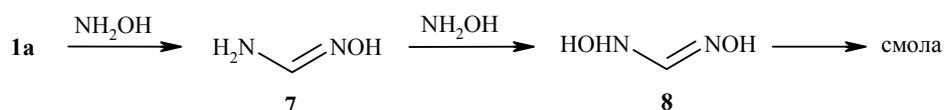
1,3,5-Триазин реагирует с амидом натрия в ксилоле при 160 °С (автоклав), образуя динатриевую соль цианамиды, что было подтверждено ее превращением в дибутилцианамид **6** [8].



Авторы предлагают совершенно нереальный механизм [8], включающий взаимодействие цианистого натрия с амидом натрия. По нашему мнению, реакция протекает следующим образом:

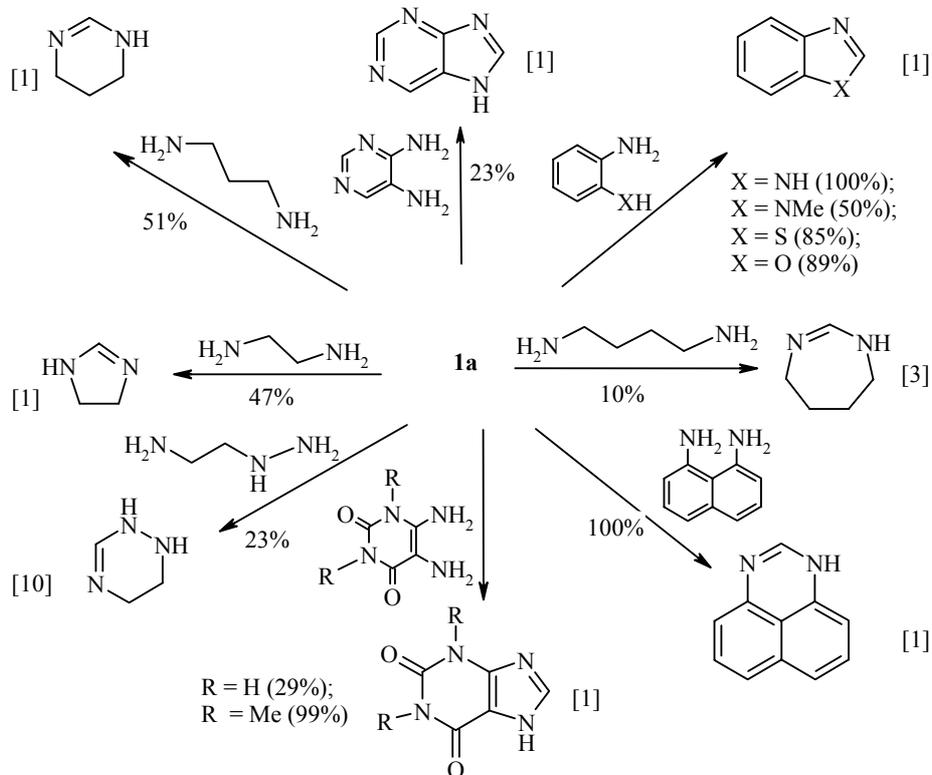


Аналогично взаимодействию с аммиаком протекает реакция триазина **1a** с гидроксиламином.

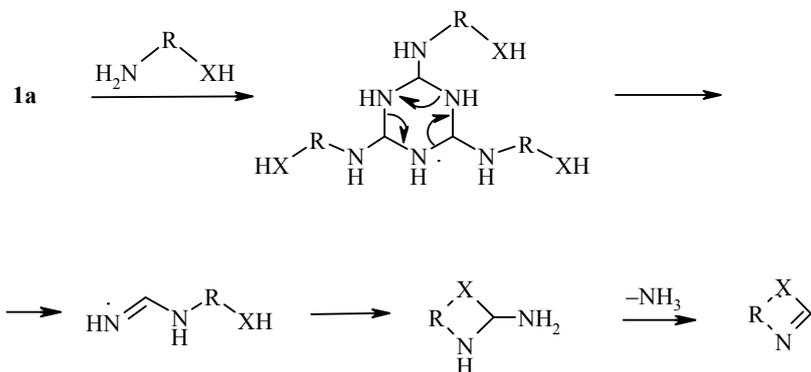


В этом случае, также как с аммиаком выход соединения **7** низкий (13%). Наблюдается сильное осмоление, которое объясняется неустойчивостью соединения **8**, вероятно, образующегося в ходе реакции [9].

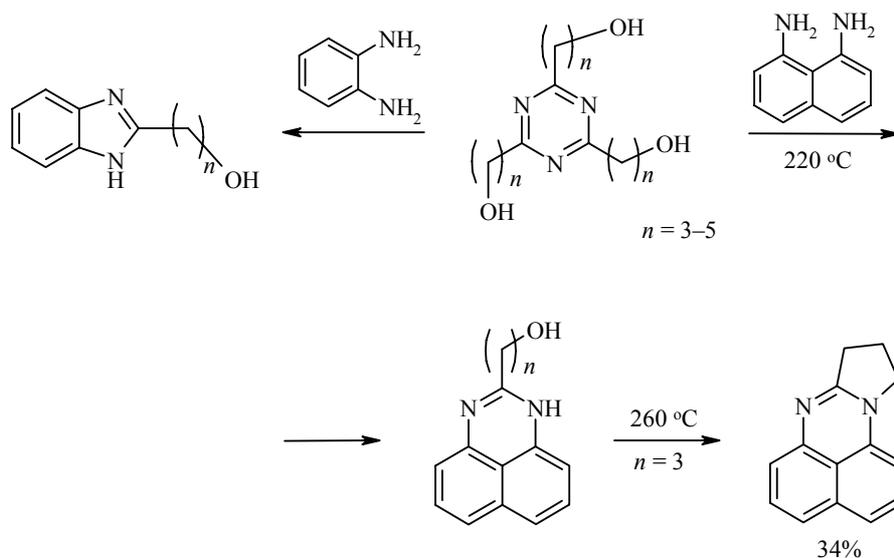
С диаминами и аминами, содержащими в положениях 4, 5 или 6, относительно аминогруппы, нуклеофильный центр, как отмечалось выше, происходит гетероциклизация [1, 3, 10, 11].



Все эти превращения, вероятно, протекают по следующему механизму:

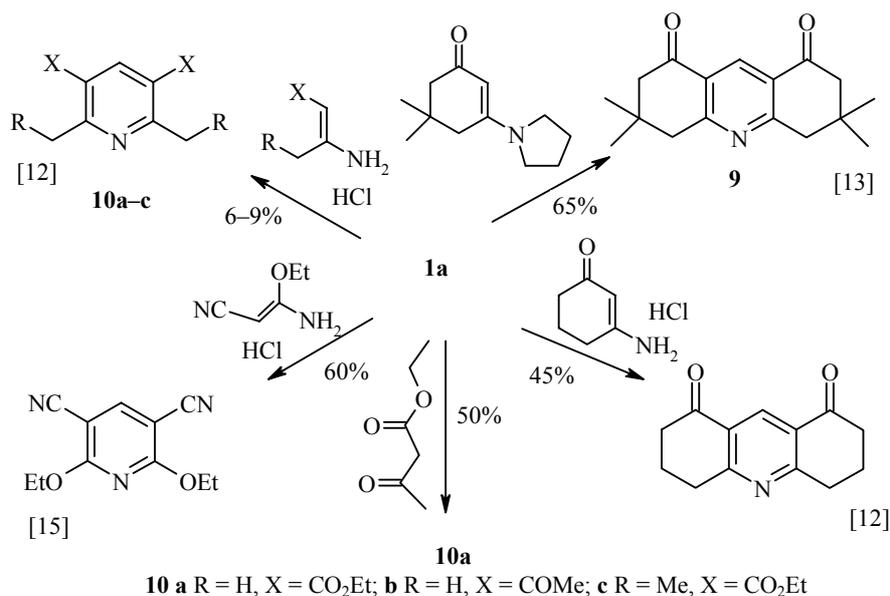


Существуют примеры подобных реакций с участием замещенного 1,3,5-триазина [11].

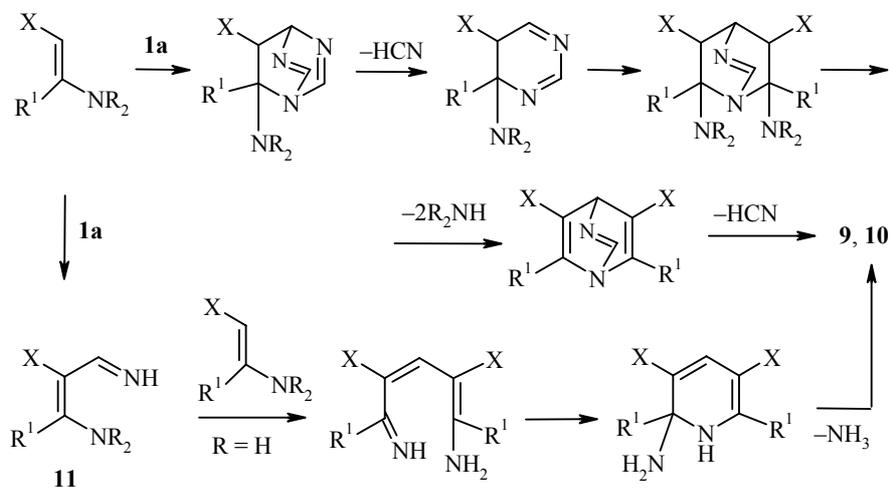


В случае 1,8-нафтилендиамин при более высокой температуре был получен продукт вторичной циклизации с выходом 34% [11].

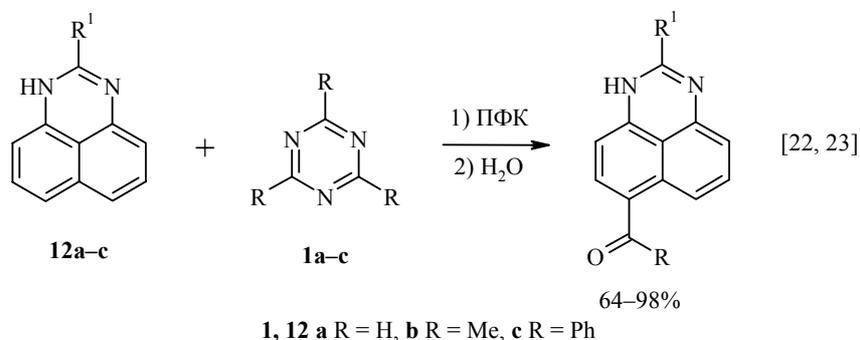
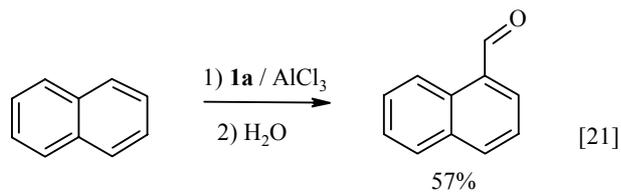
1,3,5-Триазин достаточно легко реагирует с С-нуклеофилами. В этом случае также могут участвовать две молекулы одного нуклеофила или реакция последовательно протекает с двумя различными нуклеофилами. В качестве примера реакции первого типа можно привести образование пиридинов **9** из енаминов [12, 13], ацетоуксусного эфира и подобных соединений [14, 15].



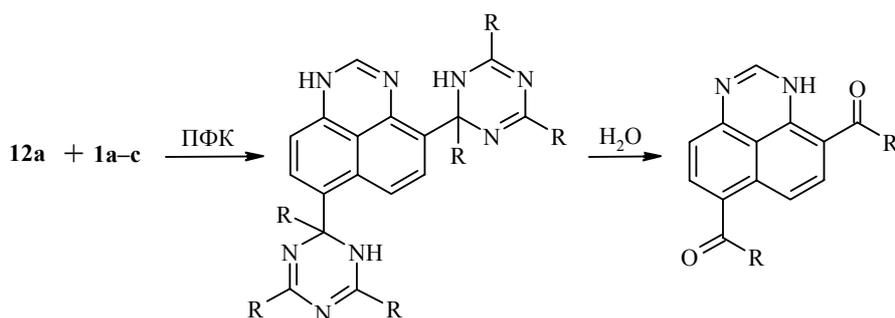
В качестве второго продукта реакции образуется соответствующий пиримидин (см. раздел 2). Соотношение и выход зависят от растворителя. Максимальный выход пиридина **9** (65%) достигается в воде [13]. Авторы работы [13] считают, что его образование является результатом двух последовательных реакций циклоприсоединения, тогда как в работе [12] рассматриваются доказательства как циклоприсоединения, так и постадийного механизма.



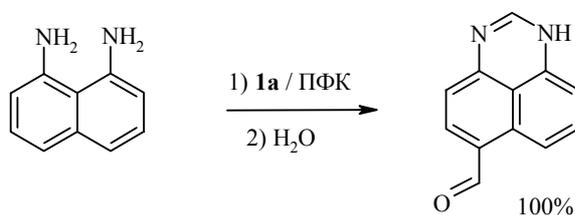
В пользу постадийной схемы свидетельствуют результаты, приведенные в работах [16, 17]. Авторы работы [16] смогли остановить реакцию на стадии образования соединений **11**, введя в реакцию дополнительный нуклеофил – вторичный амин, реализовав реакцию Маниха с триазином **1a**, а авторам работы [17] удалось выделить продукт конденсации с 2 молекулами карбонильного соединения.



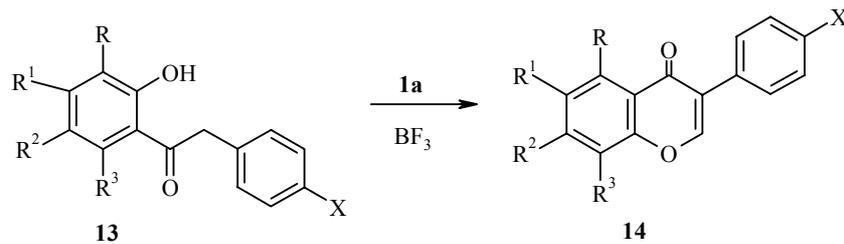
В качестве катализаторов использовали сухой HCl [18], кислоты Льюиса [18, 21] и ПФК [20, 22, 23]. С активными ароматическими соединениями реакция протекает без катализатора [18]. При использовании избытка 1,3,5-триазинов в ПФК перимидин **12a** диацелируется по различным циклам нафталиновой системы [24]:



Такая региоселективность объясняется стерическими факторами. В работе [25] сообщается о гетероциклизации с формилированием 1,8-нафтилендиамина при использовании избытка триазина **1a** в ПФК.



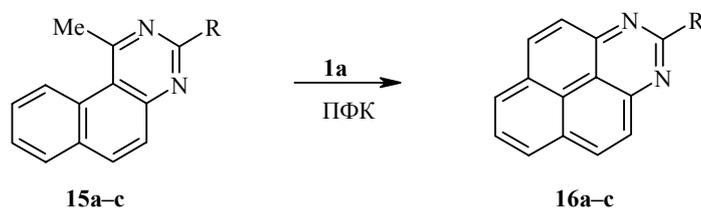
При наличии в молекуле второго нуклеофильного центра, как и в случае функционализированных аминов, происходит замыкание цикла [26–28]. Так, реакция 1,3,5-триазина с кетонами **13** в присутствии эфирата BF_3 приводит к изофлавам **14** [26].



X = OH, OMe; R = H, OMe; R¹ = OH, OMe; R² = H, OH, OMe; R³ = H, OH

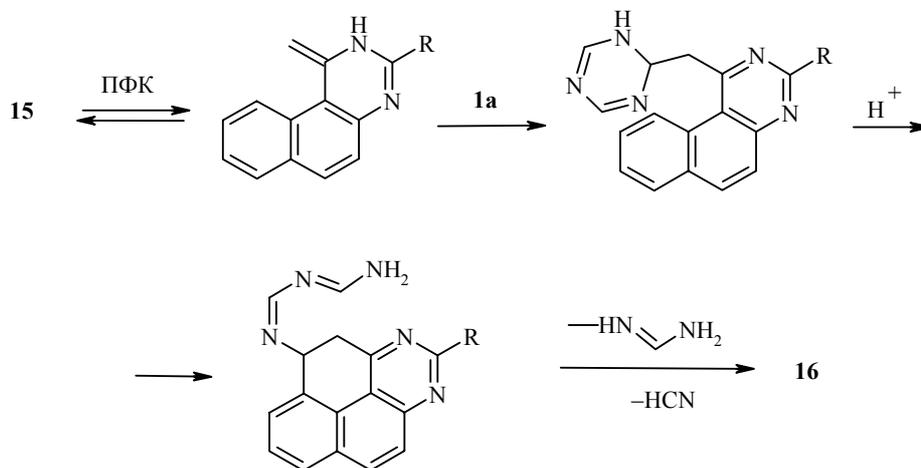
В этой реакции роль второго нуклеофила выполняет гидроксильная группа, связанная с ароматическим кольцом.

В качестве второго нуклеофила может выступать ароматическое ядро. Например, реакция 1,3,5-триазина с 1-метилбензо[*f*]хиназолинами **15** в ПФК приводит к 1,3-дизапирирам **16** с выходом 22–31% [27].

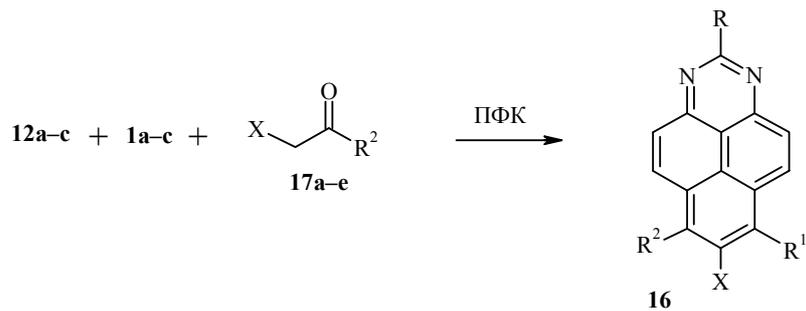


15, 16 a R = H, **b** R = Me, **c** R = Ph

Авторы постулируют следующий механизм:

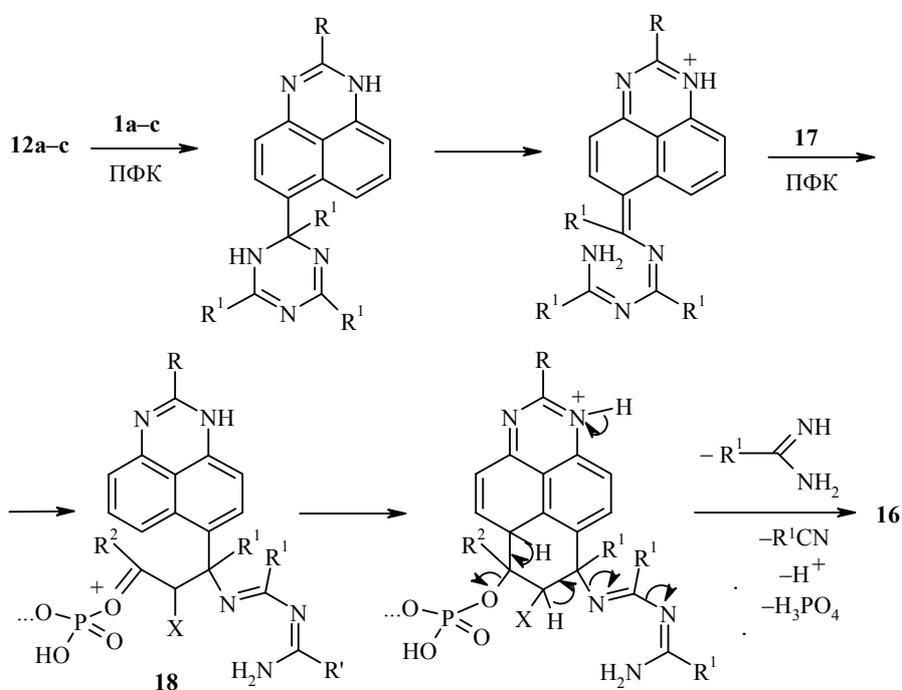


Второй нуклеофил в таких реакциях может далее вступать в различные реакции. Например, реакция перимидинов **12** с триазидами **1** в ПФК в присутствии кетон приводит с хорошим выходом (37–75%) к 1,3-дизапирирам **16** [28].

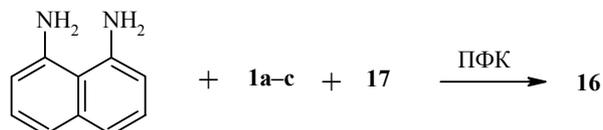


R = H, Me, Ph; R¹ = H, Me, Ph; R² = Me, Ph; X = H, CO₂Et, COMe

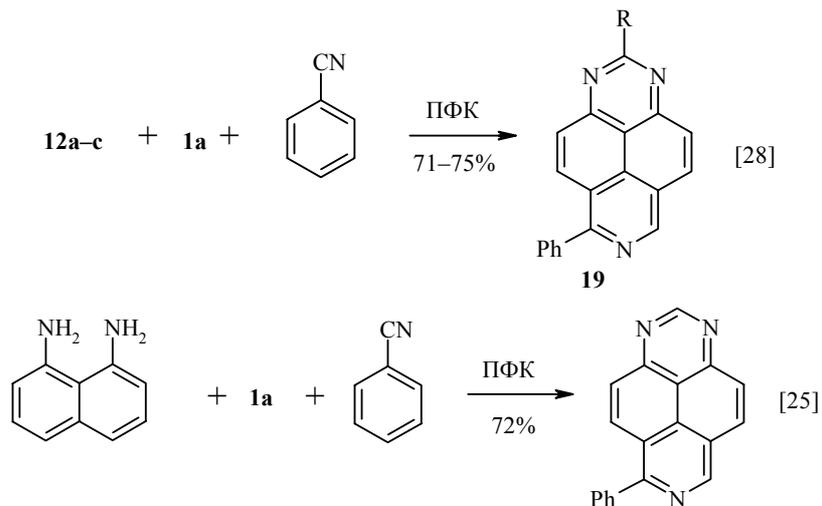
В этом случае промежуточное соединение **18**, образующееся после взаимодействия с карбонильным соединением, вступает во внутримолекулярное электрофильное замещение.



Эта реакция может быть совмещена с гетероциклизацией [25].

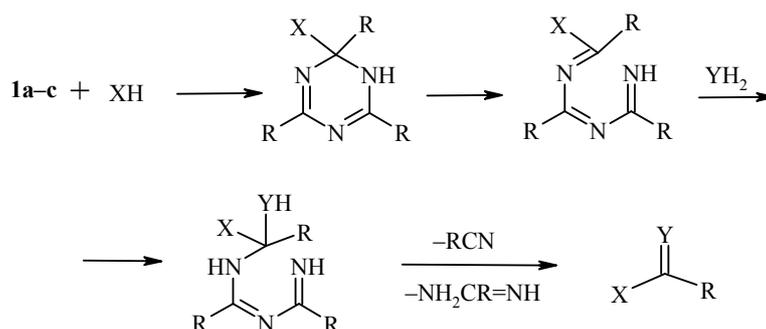


Другим примером подобного превращения может служить реакция перимидинов **12** [28] и 1,8-нафтилендиамин [25] с триазином **1a** в присутствии бензонитрила.



В этих случаях второй нуклеофильный центр образуется в результате электрофильного замещения.

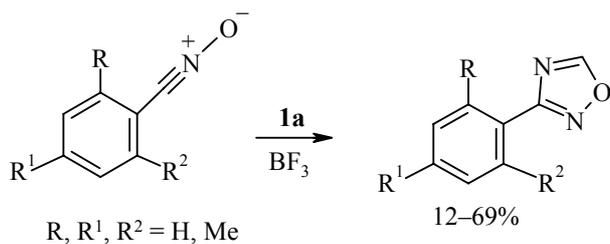
Таким образом, реакции, рассматриваемые в этой главе, протекают по следующему общему механизму:



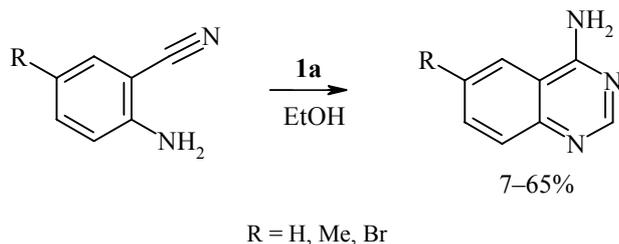
Дальнейшие превращения зависят от природы X и Y. Эти нуклеофильные реагенты могут быть частью разной молекулы или одной. В последнем случае это могут быть 1,4-, 1,5- или 1,6-бинуклеофилы.

2. Реакции, в которых 1,3,5-триазин является источником фрагмента $-CR=N-$

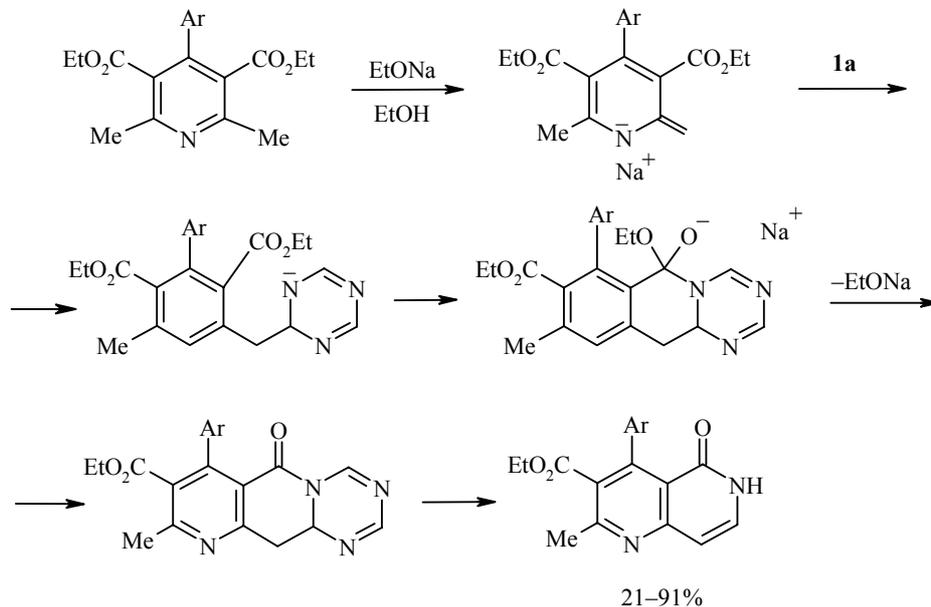
Такие реакции реализуются при наличии электрофильного центра в положении 3 или 4 относительно нуклеофильного центра. В первом случае реакция представляет собой 1,3-диполярное циклоприсоединение, где триазин **1a** выступает в качестве диполярофила. Примером такого превращения может служить синтез 1,2,4-оксадиазолов из нитрилоксидов [29].



Примеры замыкания шестичленного цикла опубликованы в работах [4, 30–35]. Исторически одной из первых работ, в основе которой лежит обсуждаемое превращение, является синтез 4-аминохиназолинов из нитрилов антралиновых кислот [4].



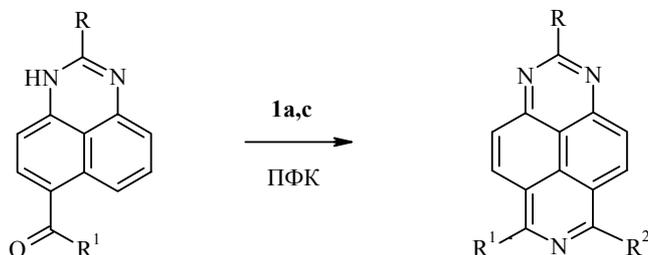
Этот пример иллюстрирует использование N-нуклеофила. Существует ряд примеров с участием C-нуклеофилов [30–33]. В этих случаях аннелируется пиридиновый цикл [30, 31].



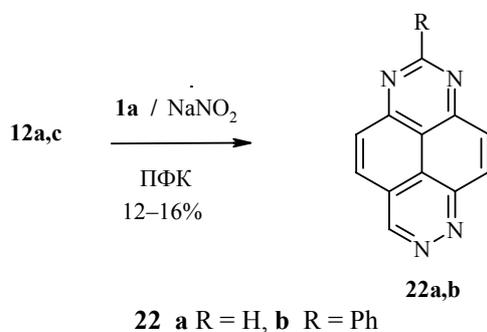
Аналогично протекает реакция с пиридинами Ганча, но в этом случае требуется более сильное основание [32].

Механизм образования дигидропиридина **20** будет обсуждаться ниже.

В качестве нуклеофила может выступать ароматическое ядро. Например, взаимодействие перимидинов, содержащих в *пери*-положении карбонильную группу, приводит к аннелированию пиридинового цикла [34].



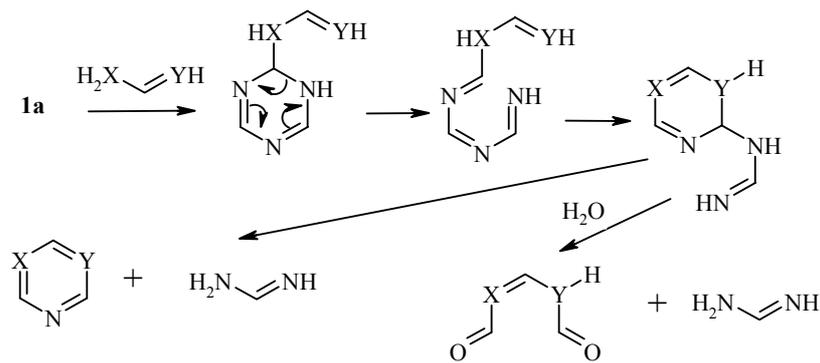
В приведенных выше примерах участвовали С-электрофилы. Существует пример использования N-электрофила. Это трехкомпонентная реакция перимидинов **12** с триазином **1a** в присутствии нитрита натрия [35].



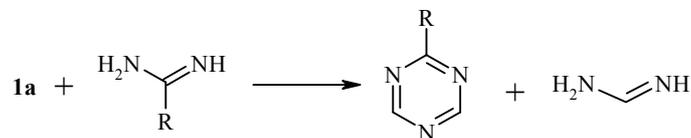
К сожалению, тетразапирены **22** были получены с низким выходом.

3. Реакции 1,3,5-триазинов с гидразинами и 1,3-бинуклеофилами

Реакции этого типа близки с обсуждаемыми в разделе 1. Они реализуются в том случае, когда атака второго нуклеофила по тому же атому, что и первого невыгодна. В таких реакциях 1,3,5-триазины выступают в качестве источника фрагмента $-\text{CR}=\text{N}-\text{CR}=\text{}$, то есть двух азаформильных или двух формильных (ацетильных) групп, если этот фрагмент раскрывается в результате гидролиза. Если исходным соединением является 1,3-бинуклеофил, то замыкается шестичленный цикл или образуется 1,5-дикарбонильное соединение. В общем виде механизм этих превращений выглядит следующим образом:

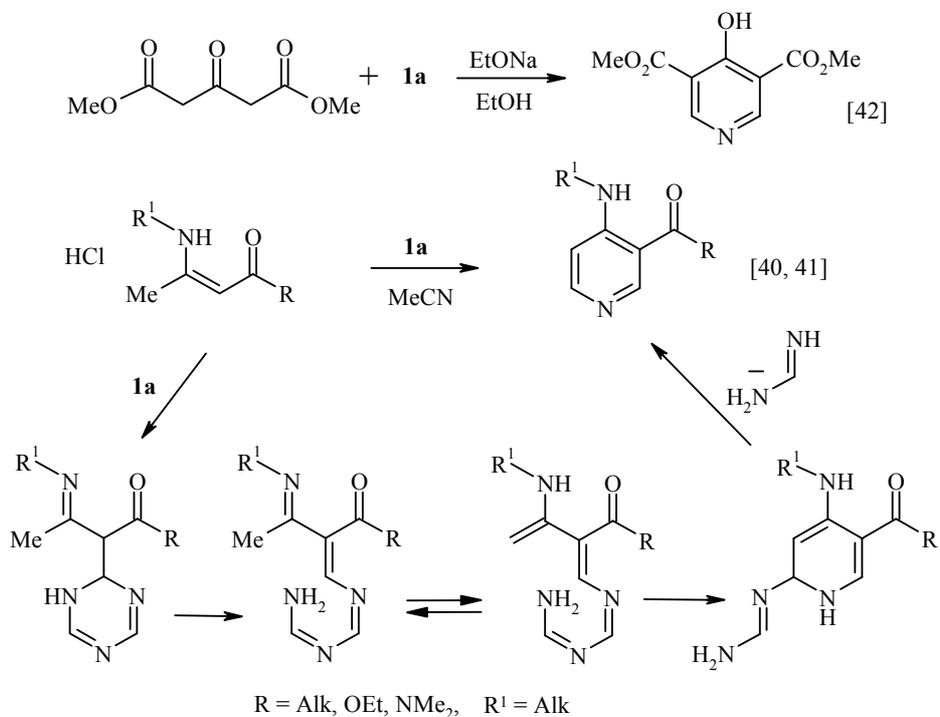


Простейшим примером реакции, протекающей по этой схеме, является взаимодействие 1,3,5-триазины с амидами $X = Y = N$ [36–39].

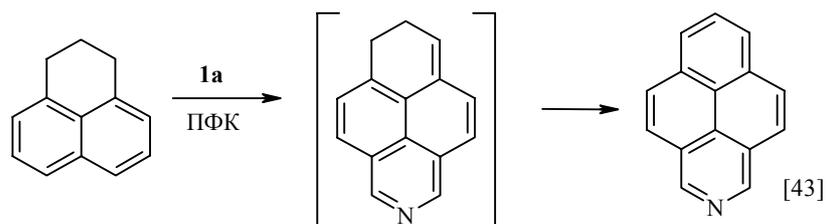
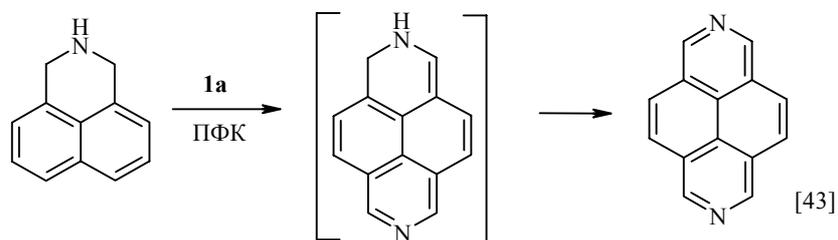
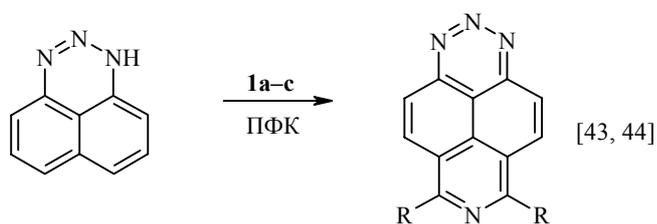
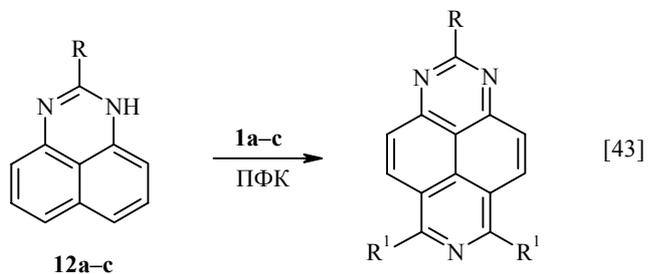


В результате реакции образуются замещенные триазины.

Описан ряд примеров использования в реакциях с 1,3,5-триазины 1,3-С-бинуклеофилов. В них, как отмечалось выше, создается новое пиридиновое кольцо. Синтез пиридинов [40–42] можно осуществить в условиях основного [42] или кислотного катализа [40, 41].

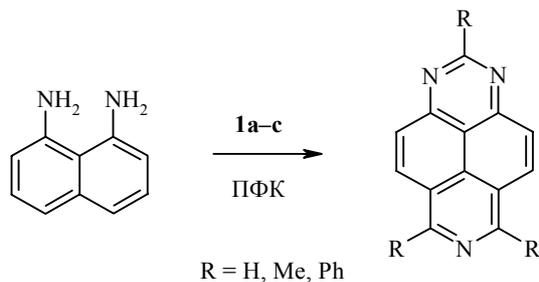


В качестве 1,3-бинуклеофилов могут выступать *пери*-положения нафталиновых систем. В этом случае происходит *пери*-аннелирование [*c,d*]пиридинового ядра [43, 44].

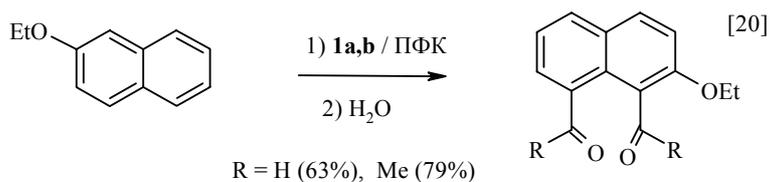
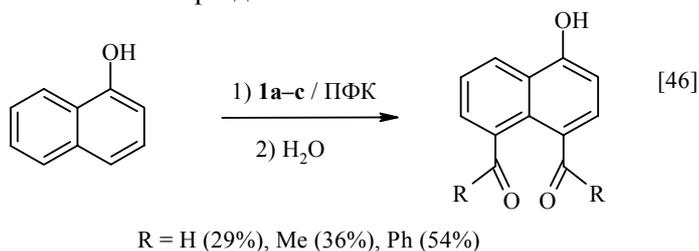


В качестве исходных соединений могут использоваться азафеналены и их дигидропроизводные. В случае последних промежуточные дигидропроизводные азапиренов спонтанно дегидрируются в ходе реакции [43].

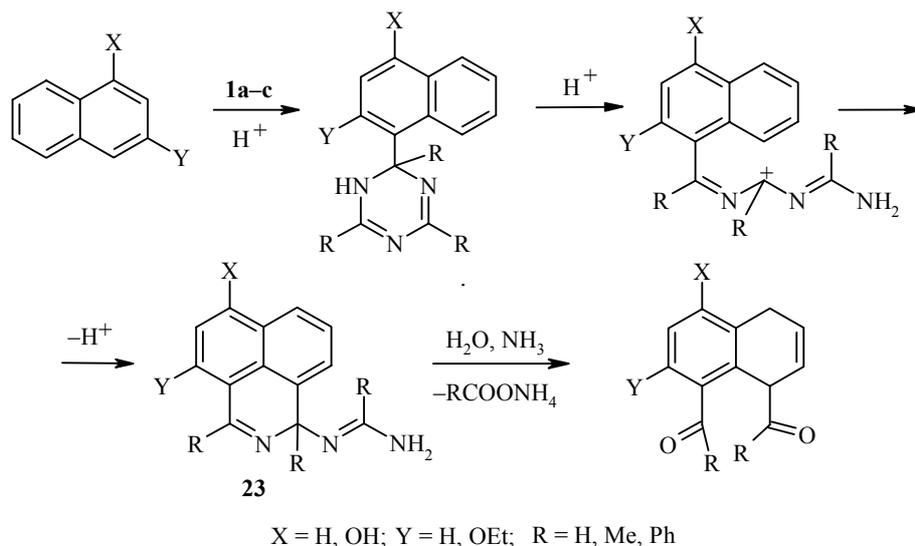
В работе [45] описан пример одновременного замыкания двух колец в 1,3,7-триазапирене.



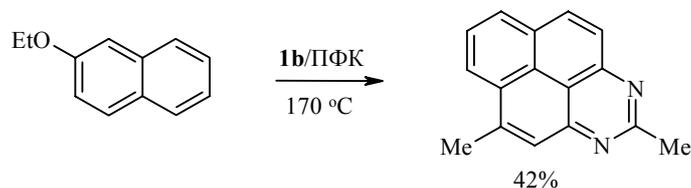
С другими производными нафталина, нафтолами и их эфирами реакция протекает несколько иначе. Происходит региоселективное 1,8-диацилирование (формилирование) [20, 46]. Реализуется второй вариант механизма, представленного в начале раздела.



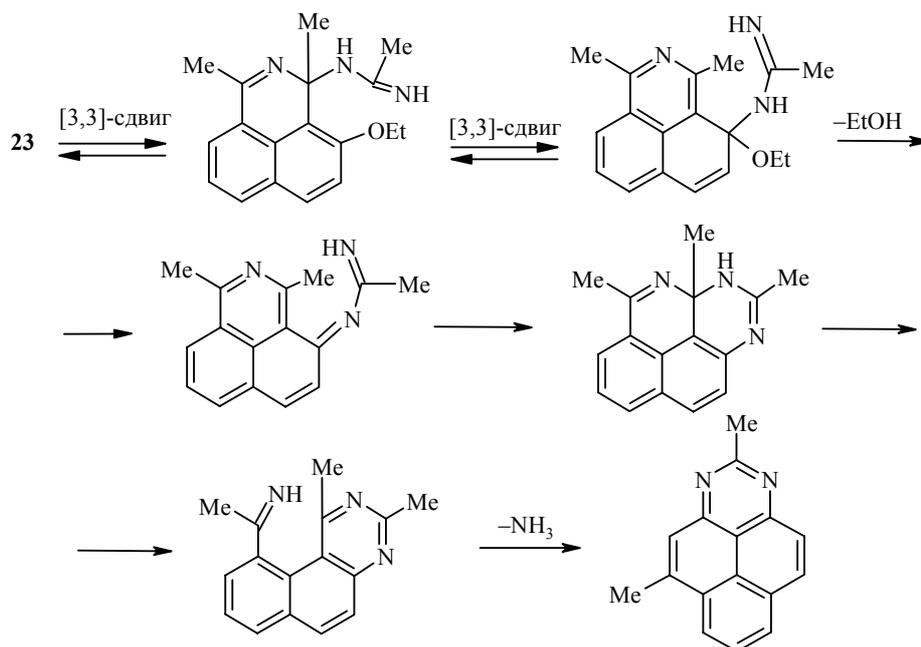
В этом случае отщепление амидина не приводит к полностью ароматической системе, поэтому при обработке реакционной смеси водой происходит гидролиз с образованием двух карбонильных групп.



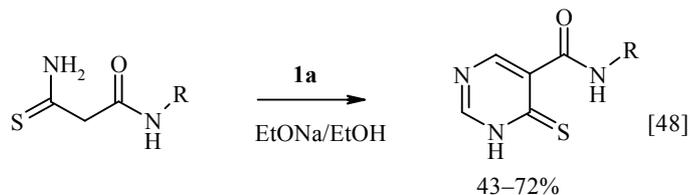
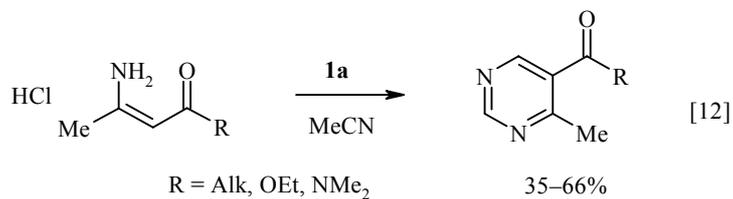
В работе [47] описан пример такого превращения, но амидин не отщепляется в ходе гидролиза, а участвует в замыкании дополнительного цикла.

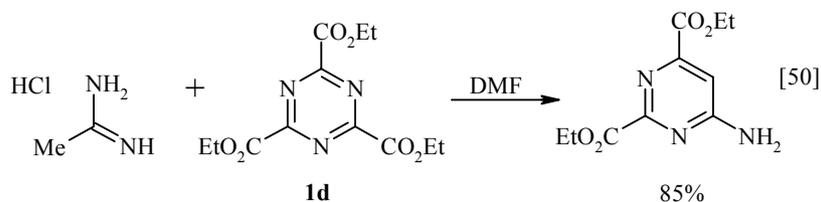
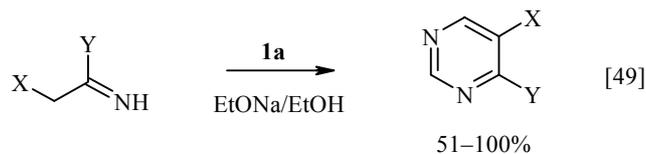


Авторы постулируют следующий механизм этой реакции, включающий образование промежуточного амидина **23**, как представлено выше:



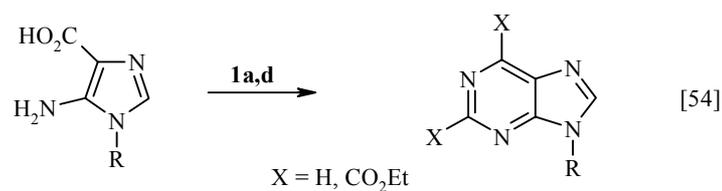
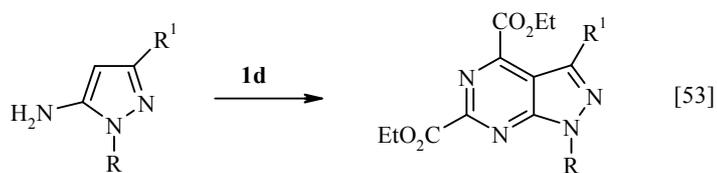
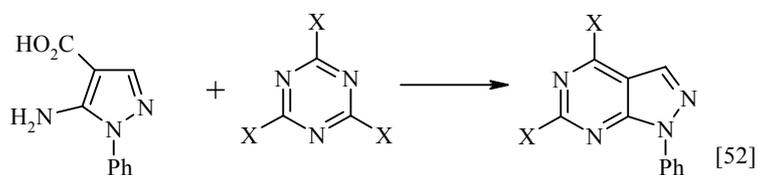
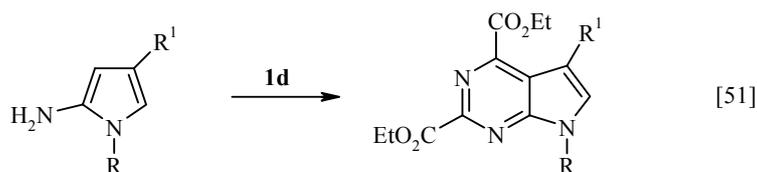
Реакции триазинов **1a,d** с 1,3-N,C-бинуклеофилами также достаточно хорошо изучены. Они приводят к замыканию пиримидинового цикла. В качестве таких нуклеофилов могут выступать амидины, енамины и тиоамиды [12, 13, 48–50].





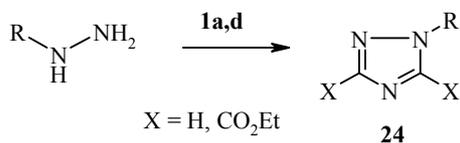
Авторы работы [50] считают, что реакция протекает как циклоприсоединение, хотя, на наш взгляд, более вероятен постадийный механизм, в пользу которого были получены данные в работе [12].

Существует ряд примеров подобных превращений, когда С-нуклеофильным центром является атом углерода пятичленной гетероциклической системы: пиразольной [51–53], имидазольной [54], пиррольной [51].

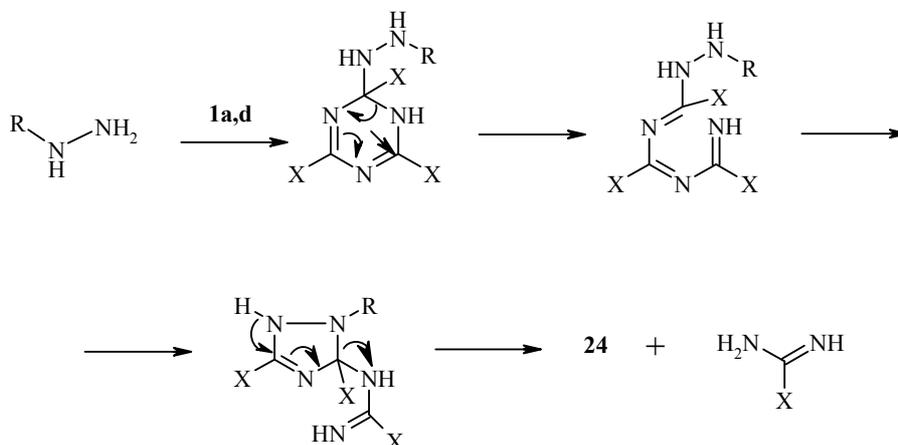


Авторы этих работ также постулируют синхронный механизм, хотя мы считаем, что здесь очевиден постадийный.

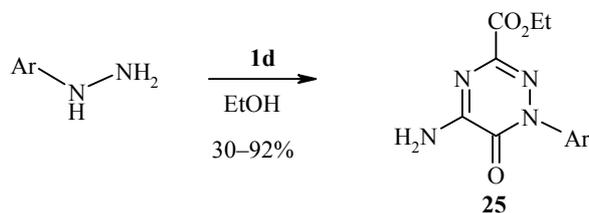
Реакции 1,3,5-триазинов **1** с гидразинами, как правило, протекают аналогично реакциям с 1,3-бифункциональными нуклеофилами. В результате образуются 1,2,4-триазолы [7, 55, 56].



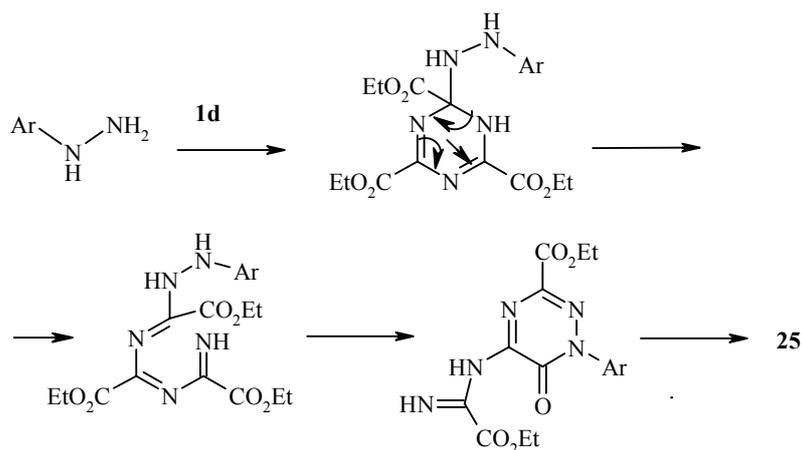
Механизм этой реакции также аналогичен представленному в начале раздела:



Реакция 2,4,6-триэтоксикарбонил-1,3,5-триазина с арилгидразинами протекает по-другому с участием этоксикарбонильной группы и приводит к образованию производных 1,2,4-триазина [57]:



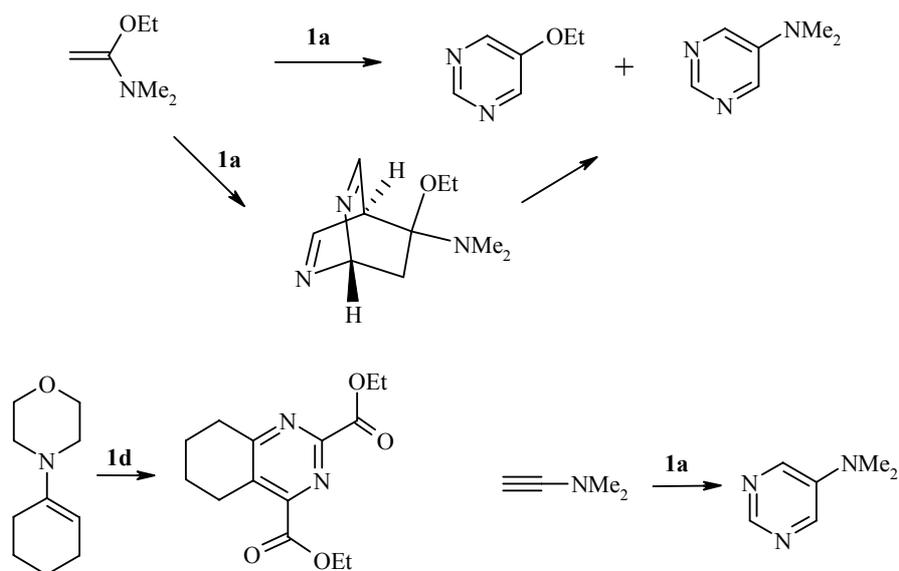
Механизм аналогичен приведенному на предыдущей схеме, но в этом случае вторичная атака нуклеофила осуществляется по этоксикарбонильной группе:



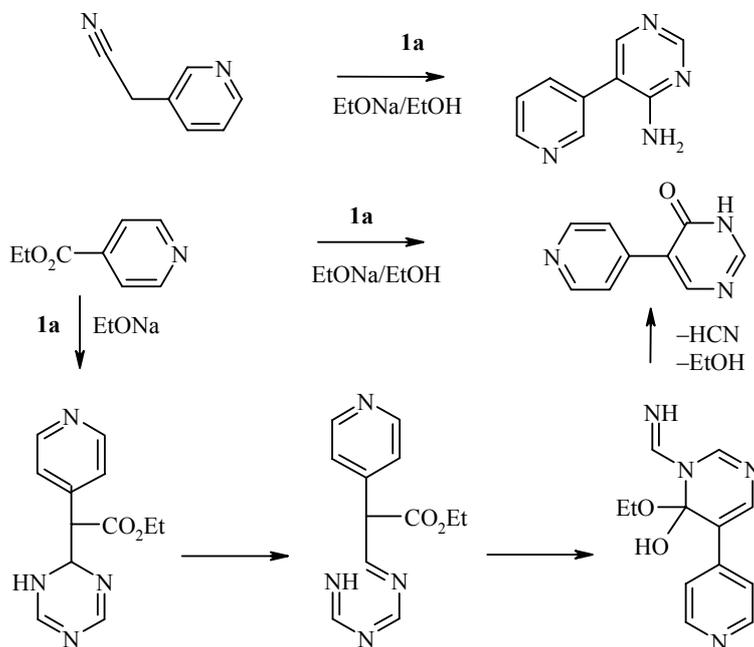
Таким образом, в реакциях с 1,2- и 1,3-бинуклеофилами, в отличие от реакций с 1,4-, 1,5- и 1,6-бинуклеофилами, атака осуществляется по двум различным атомам углерода 1,3,5-триазинов **1**.

4. 1,3,5-Триазины в качестве донора фрагмента –CR=N–CR=N–

В основе подобных превращений лежит способность 1,3,5-триазинов участвовать в гетерореакции Дильса–Альдера с обратными электронными требованиями в качестве азида [58]. Диенофилами служат различные непредельные соединения с донорными заместителями: енамины [58, 59] или диалкиламиноацетилены [60, 61]. В реакциях с енаминами образуются пиримидины, а с диалкиламиноацетиленами – диалкиламинопиримидины, например:

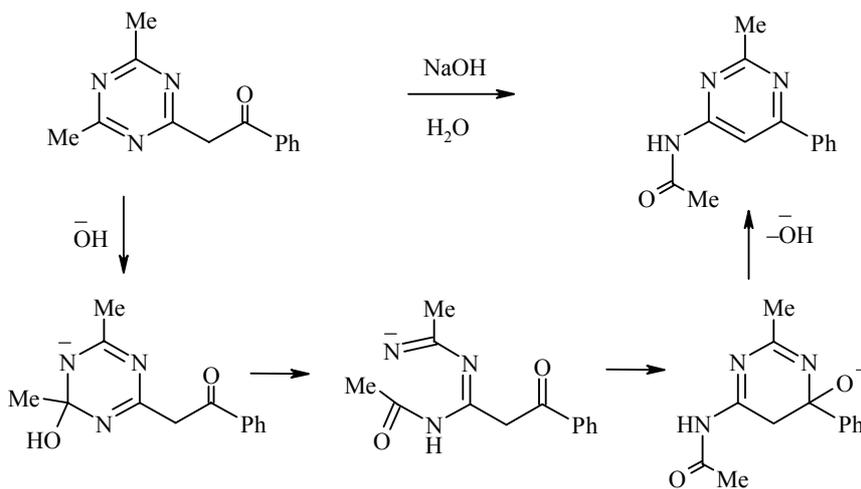


Некоторые реакции обсуждаемого типа, вероятно, протекают по-разному. Это образование пиридинонов из производных карбоновых кислот [15, 62], например:



Хотя, в принципе, эти реакции также могут протекать по механизму циклоприсоединения.

Существует несколько примеров реакций, в которых в результате нуклеофильной атаки раскрывается триазиновый цикл и далее происходит циклизация с участием карбонильной группы в боковой цепи [63–65], например:



Формально такие превращения также можно отнести к рассматриваемым в этом разделе.

Таким образом, 1,3,5-триазины способны раскрываться в результате реакции с различными нуклеофильными реагентами или вступать в реакции циклоприсоединения, являясь предшественниками группировок $-\text{CR}=\text{N}-$, $-\text{CR}-\text{N}=\text{CR}-$, $-\text{CR}=\text{N}-\text{CR}=\text{N}-$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. Grundmann, A. Kreuzberger, *J. Am. Chem. Soc.*, **77**, 6559 (1955).
2. C. Grundmann, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2**, 309 (1963).
3. L. Hinkel, E. E. Ayling, J. H. Beynon, *J. Chem. Soc.*, 678 (1935).
4. A. Kreuzberger, M. F. G. Stevens, *J. Chem. Soc. (C)*, 1282 (1969).
5. A. Kreuzberger, M. U. Uzbek, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **11**, 144 (1972).
6. A. Kreuzberger, M. U. Uzbek, *Arch. Pharm.*, **305**, 502 (1972).
7. C. Grundmann, R. Ratz, *J. Org. Chem.*, **21**, 1037 (1956).
8. C. Grundmann, A. Kreuzberger, *J. Am. Chem. Soc.*, **77**, 44 (1955).
9. H. Weiland, H. Hess, *Ber.*, **42**, 4175 (1909).
10. C. Grundmann, R. Ratz, *Chem. Ber.*, **91**, 1766 (1958).
11. H. Nohira, Y. Nishikawa, Y. Furuya, T. Makaiyama, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **38**, 897 (1965).
12. С. П. Громов, Д. В. Яшунский, Р. С. Сагитуллин, Ю. Г. Бундель, *ХТС*, 1243 (1992). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **28**, 1054 (1992)].
13. E. R. Bilbao, M. Alvarado, Ch. F. Masaguer, E. Ravina, *Tetrahedron Lett.*, **43**, 3551 (2002).
14. A. Kreuzberger, C. Grundmann, *J. Org. Chem.*, **26**, 1121 (1961).
15. K. R. Huffman, F. C. Schaefer, G. A. Peters, *J. Org. Chem.*, **27**, 551 (1962).
16. A. Kreuzberger, E. Kreuzberger, *Tetrahedron*, **32**, 2603 (1976).
17. A. Kreuzberger, E. Kreuzberger, *Tetrahedron*, **31**, 93 (1975).
18. A. Kreuzberger, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **6**, 940 (1967).
19. Л. Физер, М. Физер, *Реагенты для органического синтеза*, М., Мир, 1971, т. 5, с. 430.
20. А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, И. В. Боровлев, А. А. Заморкин, *Изв. АН, Сер. хим.*, 207 (2008).
21. A. Kreuzberger, *Arch. Pharm.*, **304**, 362 (1971).
22. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, А. С. Ляховненко, И. В. Аксенова, *ЖОрХ*, **43**, 1581 (2007).
23. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, А. С. Ляховненко, И. В. Аксенова, *ХТС*, 629 (2007). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **43**, 527 (2007)].
24. А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, Д. А. Лобач, С. В. Щербаков, *ХТС*, 1107 (2008). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **44**, 893 (2008)].
25. А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, А. С. Ляховненко, Н. А. Аксенов, *ХТС*, 1694 (2008).
26. H. C. Jha, F. Zilliken, E. Breitmayer, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **20**, 102 (1981).
27. И. В. Аксенова, А. В. Аксенов, А. А. Заморкин, В. И. Гончаров, *ХТС*, 260 (2008). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **44**, 197 (2008)].
28. A. V. Aksenov, A. S. Lyakhovnenko, I. V. Aksenova, O. N. Nadein, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 1808 (2008).
29. M. Kurayabashi, C. Grundmann, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **51**, 1484 (1978).
30. M. Balogh, I. Hermecz, G. Naray-Szabo, K. Simon, Z. Meszaros, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 753 (1986).
31. M. Balogh, I. Hermecz, K. Simon, L. Pusztay, *J. Heterocycl. Chem.*, **26**, 1755 (1989).
32. J. Kleinschroth, K. Mannhardt, J. Hartenstein, G. Satzinger, *Synthesis*, 859 (1986).

33. M. Balogh, I. Hermecz, Z. Mesziros, K. Simon, L. Pusztay, G. Horvath, P. Dvortsak, *J. Heterocycl. Chem.*, **17**, 359 (1980).
34. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, С. В. Писаренко, И. В. Аксенова, *ХГС*, 1080 (2008). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **44**, 868 (2008)].
35. И. В. Аксенова, А. В. Аксенов, А. С. Ляховненко, *ХГС*, 947 (2008). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **44**, 765 (2008)].
36. F. C. Schaefer, G. A. Peters, *J. Org. Chem.*, **27**, 3608 (1962).
37. F. C. Schaefer, G. A. Peters, *J. Org. Chem.*, **26**, 2784 (1961).
38. F. C. Schaefer, G. A. Peters, *J. Am. Chem. Soc.*, **81**, 1470 (1959).
39. H. C. Van der Plas, *Tetrahedron*, **41**, 237 (1985).
40. С. П. Громов, Д. В. Яшунский, Р. С. Сагитуллин, Ю. Г. Бундель, *ДАН*, 364 (1987).
41. С. П. Громов, Д. В. Яшунский, Р. С. Сагитуллин, А. Н. Кост, А. с. 1049484 СССР; *Б. И.*, № 39, 72 (1983)
42. X. Liang, A. Lohse, M. Bols, *J. Org. Chem.*, **65**, 7432 (2000).
43. A. V. Aksenov, I. V. Borovlev, I. V. Aksenova, S. V. Pisarenko, D. A. Kovalev, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 707 (2008).
44. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, И. В. Аксенова, Д. А. Ковалев, *ХГС*, 1590 (2007). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **43**, 1353 (2007)].
45. И. В. Боровлев, А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, С. В. Писаренко, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2275 (2007).
46. А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, А. А. Заморкин, И. В. Боровлев, *ЖОрХ*, **44**, 152 (2008).
47. А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, А. А. Заморкин, *ХГС*, 948 (2008). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **44**, 767 (2008)].
48. W. Schaper, *Synthesis*, 861 (1985).
49. F. C. Schaefer, K. R. Huffman, G. A. Peters, *J. Org. Chem.*, **27**, 548 (1962).
50. D. L. Boger, Q. Dang, *J. Org. Chem.*, **57**, 1631 (1992).
51. Z. Yu, Q. Dang, Yu. Wu, *J. Org. Chem.*, **70**, 998 (2005).
52. Q. Dang, Ya. Liu, Z. Sun, *Tetrahedron Lett.*, **42**, 8419 (2001).
53. Q. Dang, B. S. Brown, M. D. Erion, *J. Org. Chem.*, **61**, 5204 (1996).
54. Q. Dang, Ya. Liu, M. D. Erion, *J. Am. Chem. Soc.*, **121**, 5833 (1999).
55. C. Grundmann, A. Kreutzberger, *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 2839 (1957).
56. Н. В. Алексеева, Л. Н. Яхонтов, *ХГС*, 700 (1985). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **21**, 593 (1985)].
57. R. Gambert, Ch. Kuratli, R. E. Martin, *Tetrahedron Lett.*, **45**, 2791 (2004).
58. D. L. Boger, *Tetrahedron*, **39**, 2869 (1983).
59. D. L. Boger, J. Schumacher, M. D. Mullican, *J. Org. Chem.*, **47**, 2673 (1982).
60. D. L. Boger, Q. Dang, *Tetrahedron*, **44**, 3379 (1988).
61. H. Neunhoefffer, M. Bachmann, *Chem. Ber.*, **108**, 3877 (1975).
62. H. Moehrl, M. Pycior, *Arch. Pharm.*, **327**, 533 (1994).
63. D. R. Osborn, R. Levine, *J. Org. Chem.*, **28**, 2933 (1963).
64. D. R. Osborn, W. T. Wieder, R. Levine, *J. Heterocycl. Chem.*, **1**, 145 (1964).
65. H.-J. Schulz, J. Liebscher, G. Maas, *Liebigs Ann. Chem.*, 411 (1992).

Ставропольский государственный университет,
 Ставрополь, 355009, Россия
 e-mail: k-biochem-org@stavsru

Поступило 28.05.2008