

А. В. Аксенов*, Н. А. Аксенов, А. С. Ляховненко,
А. Б. Кумшаева, И. В. Аксенова

**НОВАЯ ТРЁХКОМПОНЕНТНАЯ РЕАКЦИЯ ПЕРИМИДИНОВ
С 1,3,5-ТРИАЗИНАМИ И КАРБОНИЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ
В ПОЛИФОСФОРНОЙ КИСЛОТЕ – ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД
перу-АННЕЛИРОВАНИЯ КАРБОЦИКЛИЧЕСКОГО
И ПИРИДИНОВОГО ЯДЕР**

На основе трёхкомпонентной реакции перимидинов с 1,3,5-триазидами и карбонильными соединениями, бензонитрилом или винилбутиловым эфиром в полифосфорной кислоте разработаны методы синтеза 1,3-дизапиренов, 8(6)-арил-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дизапиренов и 1,3,7-триазапиренов.

Ключевые слова: альдегиды, 8(6)-арил-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дизапирен, 1,3-дизапирены, кетоны, нитрилы, перимидины, полифосфорная кислота, 1,3,7-триазапирены, 1,3,5-триазины, *перу*-аннелирование.

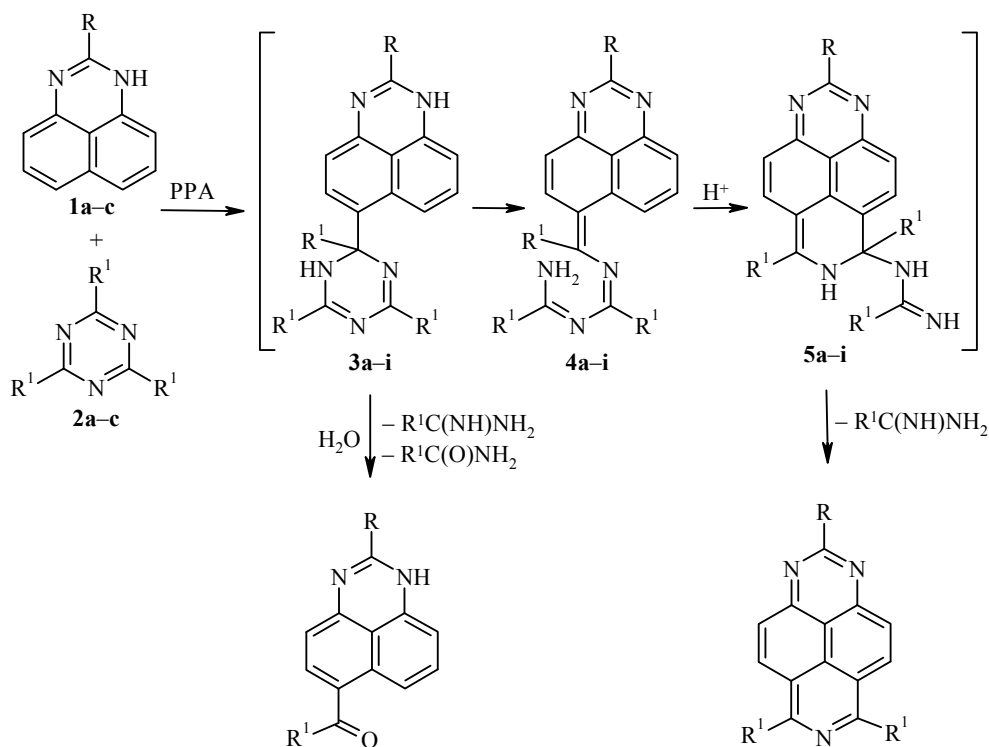
Полиядерные ароматические и гетероароматические соединения, в том числе производные пирена и их гетероциклические аналоги, имеют большое практическое значение. На их основе созданы многие органические люминофоры и красители [1–4], разработаны эффективные лекарственные препараты [5–10]. В последнее время возрос интерес к подобным структурам, прежде всего как к люминесцентным интеркаляторам [11–15], а также, в связи с развитием нанотехнологий, как к потенциальным "строительным блокам" для конструирования различных наноструктур [16].

Несмотря на многообразие возможных структур азапиренов (около 300), в настоящее время синтезированы лишь некоторые их представители, как правило, не содержащие функциональных групп [17, 18]. Это связано, в первую очередь, с отсутствием удобных методов *перу*-аннелирования карбоциклических и гетероциклических ядер к азафеналенам, в том числе к производным перимидина.

В настоящей работе мы предлагаем методы *перу*-аннелирования к перимидинам карбоциклического и [c,d]пиридинового ядер.

В литературе описан ряд методов *перу*-аннелирования карбоциклического ядра к нафталинам и феналенам, которые позволяют синтезировать феналены и пирены, в том числе и 1,3-дизапирены. Эти методы включают реакцию нафталинов или феналенов с α,β -ненасыщенными карбонильными соединениями или конденсацию двух карбонильных соединений с последующим замыканием цикла [17–27].

Ранее мы разработали методы ацилирования перимидинов **1a–c** 1,3,5-триазидами **2a–c** [18, 28, 29] и *перу*-аннелирования пиридинового ядра к феналенам и азафеналенам с использованием этих реагентов [18, 30, 31]. Для этих реакций постулировалась следующая схема:

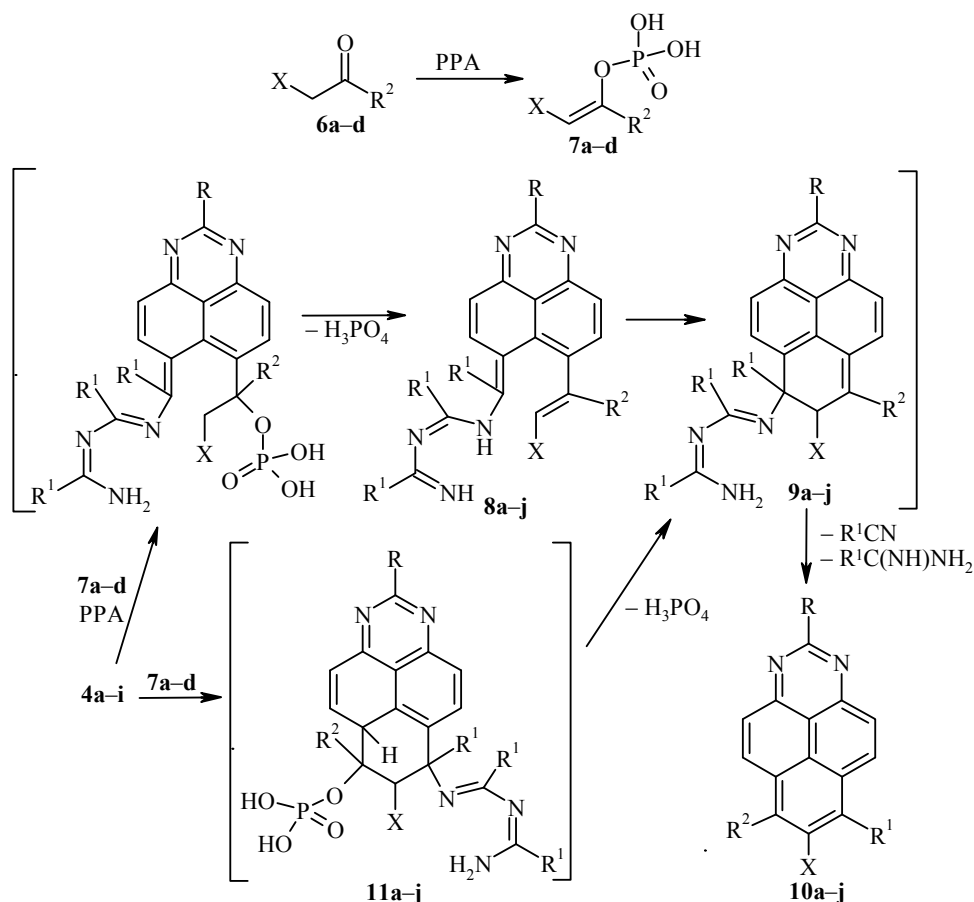


1a, 3-5a-c R = H; 1b, 3-5d-f R = Me; 1c, 3-5g-i R = Ph;
 2a, 3-5a,d,g R¹ = H; 2b, 3-5b,e,h R¹ = Me; 2c, 3-5c,f,i R¹ = Ph

Исходя из этой схемы, мы предположили, что направление реакции можно изменить в сторону аннелирования карбоциклического ядра, добавив в реакционную смесь карбонильное соединение **6a-d**, которое с полифосфорной кислотой (ПФК, PPA) образует производные **7a-d**, способные взаимодействовать с интермедиатами **4a-i** [32].

Взаимодействие соединений **7a-d** с интермедиатами **4a-i** может протекать или в результате электрофильного замещения с образованием промежуточных производных **8a-j** с последующим замыканием цикла путём электроциклической реакции, или в результате циклоприсоединения с образованием соединений **11a-j**. В любом случае образуются интермедиаты **9a-j**, которые далее превращаются в диазапирены **10a-j**.

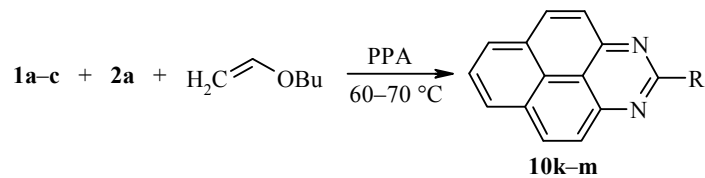
Для эффективного протекания этой многокомпонентной реакции необходимо реализовать определённую последовательность и соотношение скоростей её стадий. Этого можно достичь, варьируя температуру или соотношения реагентов. Как отмечалось ранее [18, 28, 29], реализовать ацилирование перимидинов и предотвратить *peri*-аннелирование можно реакцией перимидинов **1a-c** с триазидами **2a-c** при температуре ниже 70 °C и соотношении реагентов 1:2 (стадия образования промежуточных соединений **3a-i** – межмолекулярная, поэтому её скорость можно увеличить за счёт увеличения концентрации соответствующего триазида **2a-c**). Оказалось, что оптимальное соотношение реагентов **1a-c** : **6a-d** составляет 3:1. Такое соотношение позволяет в значительной степени избежать побочных реакций диацилирования перимидинов и их *peri*-аннелирования, при этом скорость реакции перимидинов **1a-c** с кетонами **6a-d** ниже, чем с триазидами **2a-c**.



6a, 7a, 8-11a,b X = H, R² = Me; **6b, 7b, 8-11c,f,g** X = H, R² = Ph;
6c, 7c, 8-11d,j X = COMe, R² = Me; **6d, 7d, 8-11e,h** X = CO₂Et, R² = Me;
8-11a,d R = R¹ = H; **b,f,j** R = H, R¹ = Me; **c,e** R = R¹ = H;
g R = H, R¹ = Ph; **h** R = Me, R¹ = H; **i** R = R¹ = Ph

Реакция 1 ммоль перимидинов **1a-c** с 2 ммоль триазинов **2a-c** и 3 ммоль карбонильного соединения **6a-d** в ПФК приводит к диазапиренам **10a-j** с выходами 43–75%.

Вместо карбонильных соединений в реакции можно использовать винилбутиловый эфир, что приводит к соединениям **10k-m**, но выходы в этом случае значительно ниже и составляют 18–23%. Вследствие полимеризации винилбутилового эфира в ПФК для реакции требуется его избыток.



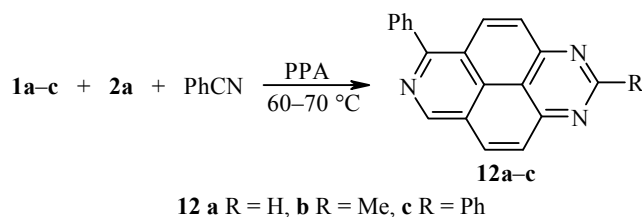
10 k R = H, **l** R = Me, **m** R = Ph

Приведённые в работах [30, 33, 34] методы синтеза 1,3,7-триазапиренов имеют ряд недостатков. *peri*-Аннелирование с помощью 1,3,5-триазинов или нитрилов [30, 33] позволяет получить только триазапирены с одинаковыми заместителями в положениях 6 и 8. Метод, основанный на использовании карбонильных производных перимидина, требует предварительного введения

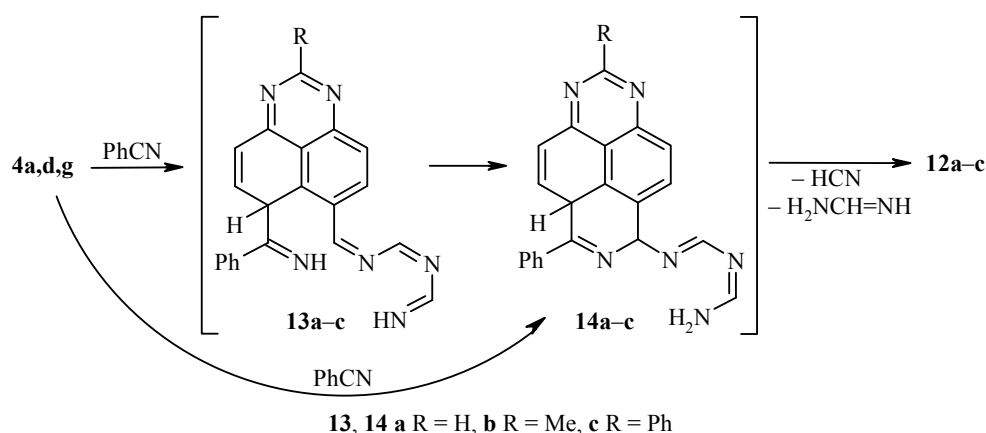
карбонильной группы в одно из *peri*-положений [34]. Разработка трёхкомпонентной реакции позволила создать метод, лишённый этих недостатков.

Наши исследования показали, что ароматические нитрилы являются, с одной стороны, подходящими реагентами для второго ацилирования, с другой стороны, они менее реакционноспособны, чем триазины **2a–c** [33]. Это позволяет обеспечить необходимую региоселективность за счёт того, что в первую очередь перимидины **1a–c** будут реагировать с триазинами **2a–c**, при этом может реализоваться последующая реакция с нитрилами. Поэтому последние могут быть использованы в трёхкомпонентной реакции.

Мы установили, что реакция 1 ммоль перимидинов **1a–c** с 2 ммоль триазина **2a** и 5 ммоль бензонитрила в ПФК действительно приводит к образованию триазапиренов **12a–c** с выходами 71–75%.



В этой реакции, как и в случае синтеза 1,3-диазапиренов, образуются интермедиаты **4a,d,g**. Последующая их реакция с бензонитрилом, которая может протекать или поэтапно с промежуточным образованием соединений **13a–c**, или в результате циклоприсоединения приводит к производным **14a–c**, которые далее превращаются в триазапирены **12a–c**.

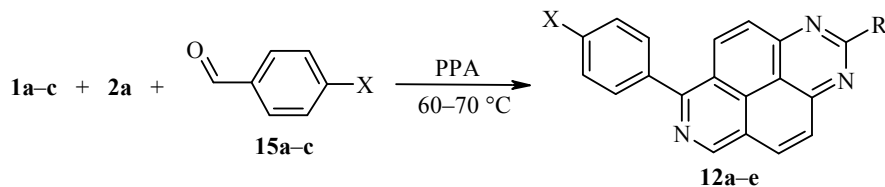


Нами был выявлен очевидный недостаток этого метода: в качестве второго компонента можно использовать только бензонитрил. Эксперименты показали, что скорость взаимодействия интермедиатов **4a,d,g** с другими нитрилами ниже, чем скорость их внутримолекулярной циклизации с образованием незамещённых по положениям 6 и 8 1,3,7-триазапиренов как в случае 4-нитробензонитрила, так и 4-метоксибензонитрила. Поэтому мы решили разработать более универсальную трёхкомпонентную реакцию.

Для решения поставленной задачи необходимо было использовать соединения, более реакционноспособные, чем нитрилы, например альдегиды **15a–c**. Кроме того, интересно было выяснить, как будет протекать открытая нами реакция с неенолизируемыми карбонильными соединениями. Поэтому далее

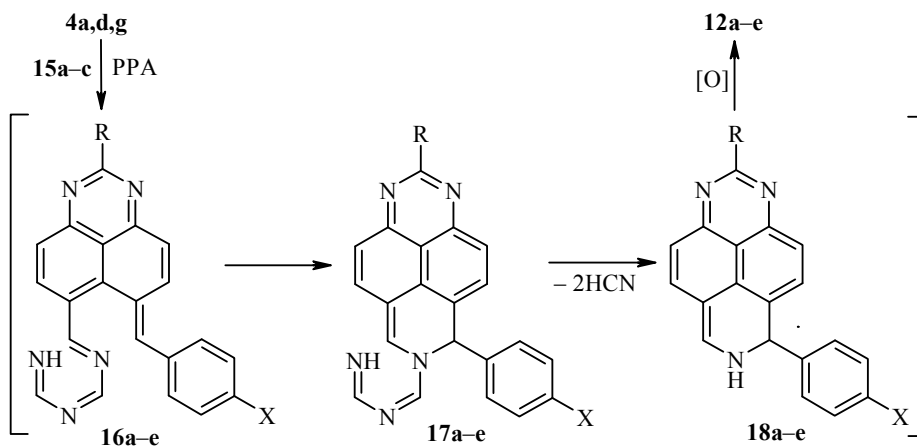
была изучена реакция перимидинов **1a–c** с триазином **2a** в присутствии ароматических альдегидов **15a–c**.

Оказалось, что реакция перимидинов **1a–c** с 1,3,5-триазином (**2a**) в присутствии бензальдегидов **15a–c** протекает легче, чем с бензонитрилом, и приводит к триазапиренам **12a–e** с высокими выходами (83–91%).



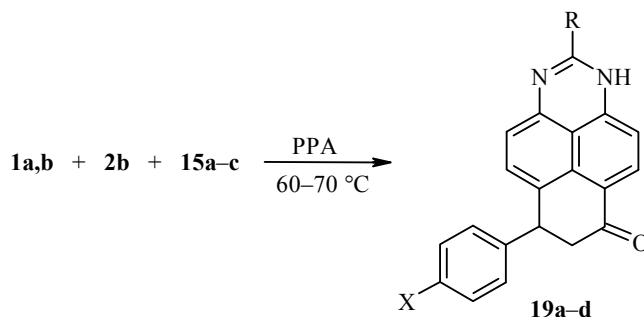
12a,d,e R = H, **12b** R = Me, **12c** R = Ph; **12a,b,c**, **15a** X = H; **12d**, **15b** X = Br; **12e**, **15c** X = NO₂

Механизм реакции, вероятно, аналогичен приведённому для бензонитрила и включает конденсацию интермедиатов **4a,d,g** с альдегидами **15a–c** с образованием соединений **16a–e**, их гетероциклизацию в соединения **17a–e**, отщепление HCN от последних и окисление дигидропроизводных **18a–e** кислородом воздуха:



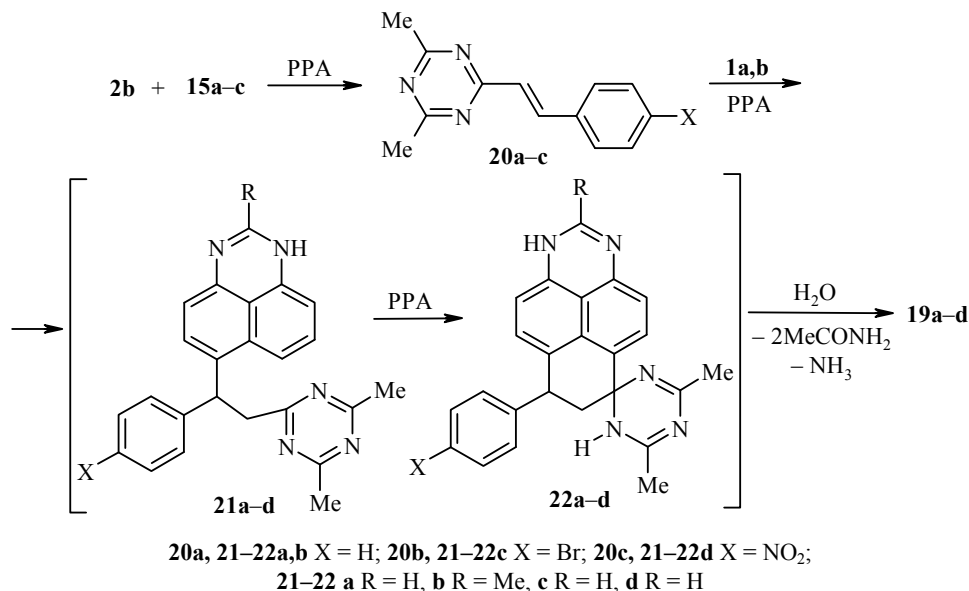
16–18 a R = X = H; **b** R = Me, X = H; **c** R = Ph, X = H; **d** R = H, X = Br; **e** R = H, X = NO₂

Реакция перимидинов **1a,b** с 2,4,6-триметил-1,3,5-триазином (**2b**) в присутствии ароматических альдегидов **15a–c** протекает иначе, чем с 1,3,5-триазином (**2a**). В этом случае образуются 8(6)-арил-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-диазапирены **19a–d** с выходами 76–84%.



19 a R = X = H; **b** R = Me, X = H; **c** R = H, X = Br; **d** R = H, X = NO₂

Полученные результаты можно объяснить следующим образом: альдегиды **15a–c** быстрее взаимодействуют с триазином **2b**, нежели последний реагирует с перимидинами **1a,b**. В результате реакции образуются триазины **20a–c**, которые могут алкилировать соединения **1a,b** с образованием промежуточных соединений **21a–d**. Дальнейшая циклизация приводит к спиросоединениям **22a–d**, гидролиз которых даёт производные 1,3-диазапирена **19a–d**.



Таким образом, открытая нами трёхкомпонентная реакция перимидинов с триазинами в присутствии карбонильных соединений в ПФК, в зависимости от строения триазина и карбонильного соединения, позволяет получать 1,3-диазапирены, 8(6)-арил-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-диазапирены и 1,3,7-триазапирены.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ¹H и ¹³C зарегистрированы на приборе Bruker AM-300 (300 и 75 МГц соответственно), внутренний стандарт ТМС. Контроль за протеканием реакций и индивидуальностью синтезированных соединений осуществляли на пластинках Silufol UV-254, растворитель этилацетат. Колоночную хроматографию проводили на силикагеле L 40/100, элюент этилацетат. ПФК с 86% P₂O₅ получена по методике [35]. 1,3,5-Триазин (**2a**) и 2,4,6-трифенил-1,3,5-триазин (**2c**) – коммерческие реагенты (Aldrich); 2,4,6-триметил-1,3,5-триазин (**2b**) получен по методике [36].

1,3-Диазапирены 10a–m (общая методика). Смесь 1 ммоль перимидина **1a–c**, 2 ммоль 1,3,5-триазина **2a–c** и 3 ммоль (10 ммоль в случае винилбутилового эфира) карбонильного соединения в 3–4 г ПФК интенсивно перемешивают при 60–70 °С в течение 9 ч. Затем реакционную смесь выливают в 30 мл воды, подщелачивают раствором аммиака до pH 7–8, выпавшие после охлаждения кристаллы или масло экстрагируют EtOAc (3 × 50 мл). Растворитель упаривают, остаток хроматографируют. Температуры плавления соединений **10f,g,i** идентичны приведённым в [26], соединений **10a–e,h,j** – [32] и соединений **10k–m** – [37]. ИК спектры соединений **10d,e,h,j** соответствуют приведённым в [32]. Спектры ЯМР ¹H соединений **10a–j** идентичны опубликованным в [32] и соединений **10k–m** – [37]. Спектры ЯМР ¹³C соединений **10a–e,h,j** идентичны опубликованным в [32]. Проба смешения образца

соединений **10f,g,i,k–m** с заведомо известным образцом не даёт депрессии температуры плавления.

6-Метил-1,3-дiazапирен (10a). Выход 0.102 г (47%).

6,8-Диметил-1,3-дiazапирен (10b). Выход 0.104 г (45%).

6-Фенил-1,3-дiazапирен (10c). Выход 0.21 г (75%).

1-(6-метил-1,3-дiazапирен-7-ил)этанол (10d). Выход 0.148 г (57%).

Этиловый эфир 6-метил-1,3-дiazапирен-7-карбоновой кислоты (10e). Выход 0.125 г (43%).

6-Метил-8-фенил-1,3-дiazапирен (10f). Выход 0.215 г (73%).

6,8-Дифенил-1,3-дiazапирен (10g). Выход 0.153 г (43%).

Этиловый эфир 2,6-диметил-1,3-дiazапирен-7-карбоновой кислоты (10h). Выход 0.173 г (57%).

2,6,8-Трифенил-1,3-дiazапирен (10i). Выход 0.22 г (51%).

7-Ацетил-6,8-диметил-1,3-дiazапирен (10j). Выход 0.101 г (37%).

1,3-Дiazапирен (10k). Выход 0.037 г (18%).

2-Метил-1,3-дiazапирен (10l). Выход 0.048 г (22%).

2-Фенил-1,3-дiazапирен (10m). Выход 0.064 г (23%).

1,3,7-Триазапирены 12a–e (общая методика). Смесь 1 ммоль перимидина **1a–c**, 0.162 г (2 ммоль) 1,3,5-триазина (**2a**) и 2 ммоль карбонильного соединения или 0.515 г (5 ммоль) бензонитрила в 3–4 г ПФК интенсивно перемешивают при 60–70 °С в течение 9 ч. Затем реакционную смесь выливают в 30 мл воды, подщелачивают раствором аммиака до pH 7–8, выпавшие после охлаждения кристаллы фильтруют, сушат, очищают перекристаллизацией. Температуры плавления и спектры ЯМР ¹H и ¹³C соединений **12a–c** идентичны опубликованным в [32].

6-Фенил-1,3,7-триазапирен (12a). Выход 0.211 г (75%) в реакции с бензонитрилом, 0.256 г (91%) в реакции с бензальдегидом.

2-Метил-6-фенил-1,3,7-триазапирен (12b). Выход 0.209 г (71%) в реакции с бензонитрилом, 0.257 г (87%) в реакции с бензальдегидом.

2,6-Дифенил-1,3,7-триазапирен (12c). Выход 0.264 г (74%) в реакции с бензонитрилом, 0.314 г (88%) в реакции с бензальдегидом.

6-(4-Бромфенил)-1,3,7-триазапирен (12d). Выход 0.320 г (89%). Т. пл. 242–244 °С (EtOAc). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ, м. д. (*J*, Гц): 7.61 (2H, д, *J* = 8.8, H-3,5 Ar); 7.95 (2H, д, *J* = 8.8, H-2,6 Ar); 8.30 (1H, д, *J* = 9.5, H-9); 8.34 (1H, д, *J* = 9.2, H-5); 8.74 (1H, д, *J* = 9.5, H-10); 8.87 (1H, д, *J* = 9.2, H-4); 9.69 (1H, с, H-8); 9.89 (1H, с, H-2). Найдено, %: C 63.48; H 2.73; N 11.71. C₁₉H₁₀BrN₃ Вычислено, %: C 63.35; H 2.80; N 11.67.

6-(4-Нитрофенил)-1,3,7-триазапирен (12e). Выход 0.271 г (83%). Т. пл. 178–180 °С (EtOAc). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ, м. д. (*J*, Гц): 7.96 (2H, д, *J* = 8.7, H-2,6 Ar); 8.31 (1H, д, *J* = 9.5, H-9); 8.35 (1H, д, *J* = 9.2, H-5); 8.42 (2H, д, *J* = 8.7, H-3,5 Ar); 8.77 (1H, д, *J* = 9.5, H-10); 8.89 (1H, д, *J* = 9.2, H-4); 9.78 (1H, с, H-8); 9.91 (1H, с, H-2). Найдено, %: C 70.06; H 3.01; N 17.24. C₁₉H₁₀N₄O₂ Вычислено, %: C 69.94; H 3.09; N 17.17.

8(6)-Арил-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дiazапирены 19a–d (общая методика). Смесь 1.0 ммоль перимидина **1a,b**, 0.185 г (1.5 ммоль) 2,4,6-триметил-1,3,5-триазина (**2b**) и 1.5 ммоль ароматического альдегида в 3–4 г ПФК интенсивно перемешивают при 60–70 °С в течение 8 ч. Затем реакционную смесь выливают в 30 мл воды, кипятят в течение 5 мин, охлаждают, подщелачивают раствором аммиака до pH 7–8. Выпавшие после охлаждения кристаллы фильтруют, сушат, перекристаллизовывают из EtOAc. Температуры плавления и спектры ЯМР ¹H соединений **19a,c** идентичны опубликованным в [27]. Проба смешения с заведомо известным образцом не даёт депрессии температуры плавления.

6(8)-Оксо-8(6)-фенил-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дiazапирен (19a). Выход 0.250 г (84%).

2-Метил-6(8)-оксо-8(6)-фенил-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дiazапирен (19b). Выход 0.243 г (78%). Т. пл. 151–152 °С (EtOAc). Спектр ЯМР ¹H (DMCO-d₆), δ, м. д. (*J*, Гц): 2.18 (3H, с, CH₃); 2.95–3.01 (2H, м, CH₂); 4.48 (1H, уш. д. д, *J* = 5.9, *J* = 6.4, CHPh);

6.52 (1H, уш. д, $J = 8.1$, H-10); 6.61 (1H, уш. д, $J = 7.8$, H-4); 7.04 (1H, д, $J = 7.8$, H-5); 7.15–7.30 (5H, м, H Ph); 7.77 (1H, д, $J = 8.1$, H-9); 11.37 (1H, уш. с, NH). Найдено, %: C 80.92; H 5.11; N 8.89. $C_{21}H_{16}N_2O$. Вычислено, %: C 80.75; H 5.16; N 8.97.

8(6)-(4-Бромфенил)-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дизапирен (19c). Выход 0.286 г (76%).

8(6)-(4-Нитрофенил)-6(8)-оксо-1,6,7,8-тетрагидро-1,3-дизапирен (19d). Выход 0.278 г (81%). Т. пл. 197–198 °С (EtOAc). Спектр ЯМР 1H (ДМСО- d_6), δ , м. д. (J , Гц): 3.01 (1H, д, д, $J = 11.3$, $J = 6.9$) и 3.24 (1H, д, д, $J = 11.3$, $J = 7.0$, CH_2); 4.70 (1H, уш. д, д, $J = 6.9$, $J = 7.0$, CH); 6.53 (1H, уш. д, $J = 7.7$, H-10); 6.67 (1H, уш. д, $J = 7.7$, H-4); 7.06 (1H, д, $J = 7.7$, H-5); 7.45 (2H, д, $J = 8.4$, H-2,6 Ar); 7.80 (1H, д, $J = 7.7$, H-9); 7.60 (1H, с, H-2); 8.14 (2H, д, $J = 8.4$, H-3,5 Ar); 11.37 (1H, уш. с, NH). Найдено, %: C 70.11; H 3.75; N 12.16. $C_{20}H_{13}N_3O_3$. Вычислено, %: C 69.97; H 3.82; N 12.24.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 10-03-00193а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б. Е. Зайцев, Г. И. Мигачев, Л. В. Сахащук, Ю. П. Кобзев, Д. Н. Громов, З. К. Одинец, А. М. Терентьев, К. М. Дюмаев, А. с. СССР 1388408; *Б. И.*, № 14, 117 (1988).
2. N. Leventis, I. A. Elder, D. R. Rolison, M. L. Anderson, C. I. Merzbacher, *Chem. Mater.*, **11**, 2837 (1999).
3. H. E. Katz, J. Johnson, A. J. Lovinger, W. Li, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 7787 (2000).
4. S. Alp, S. Erten, C. Karapire, B. Koz, A. O. Doroshenko, S. Icli, *J. Photochem. Photobiol., A*, **135**, 103 (2000).
5. С. К. Абилев, И. К. Любимова, Г. И. Мигачев, *Генетика*, **28**, 52 (1992).
6. A. D. Andricopulo, L. A. Muller, V. C. Filho, G. S. Cani, J. F. Roos, R. Correa, A. R. S. Santos, R. J. Nunes, R. A. Yunes, *Farmaco*, **55**, 319 (2000).
7. A. E. S. Fairfull, D. A. Peak, W. F. Short, T. I. Watkins, *J. Chem. Soc.*, 4700 (1952).
8. S. Roknic, L. Glavas-Obrovac, I. Karner, I. Piantanida, M. Zinic, K. Pavelic, *Chemotherapy*, **46**, 143 (2000).
9. I. Piantanida, B. S. Palm, M. Zinic, H.-J. Schneider, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*, 1808 (2001).
10. I. Steiner-Biocic, L. Glavas-Obrovac, I. Karner, I. Piantanida, M. Zinic, K. Pavelic, J. Pavelic, *Anticancer Res.*, **16**, 3705 (1996).
11. H.-C. Becker, B. Norden, *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 5798 (1997).
12. A. M. Brun, A. Harriman, *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 8153 (1991).
13. A. M. Brun, A. Harriman, *J. Am. Chem. Soc.*, **114**, 3656 (1992).
14. A. J. Blacker, J. Jazwinski, J.-M. Lehn, F. X. Wilhelm, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1035 (1986).
15. H. Ikeda, K. Fuji, K. Tanaka, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **6**, 101 (1996).
16. V. Balzani, A. Credi, S. J. Langford, F. M. Raymo, J. F. Stoddart, M. Venturi, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 3542 (2000).
17. И. В. Боровлев, О. П. Демидов, *ХТС*, 1613 (2008). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **44**, 1311 (2008).]
18. А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, *ХТС*, 167 (2009). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **45**, 130 (2009).]
19. S. Kuroda, S. Hirooka, E. Tanaka, Y. Fukuyama, T. Tsuchida, K. Nakagawa, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **62**, 2396 (1989).
20. V. G. Nenajdenko, I. L. Baraznenok, E. S. Balenkova, *Tetrahedron*, **52**, 12993 (1996).
21. M. S. Newman, V. K. Khanna, *J. Org. Chem.*, **40**, 3283 (1975).
22. T. Karpe, *Tetrahedron Lett.*, **9**, 5327 (1968).

23. C. Jutz, R. Kirchlechner, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **5**, 516 (1966).
24. D. A. Frost, G. A. Morrison, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 2159 (1973).
25. I. K. Lewis, R. D. Topsom, *Aust. J. Chem.*, **18**, 923 (1965).
26. И. В. Боровлев, О. П. Демидов, А. Ф. Пожарский, *ХГС*, 1109 (2002). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **38**, 968 (2002).]
27. И. В. Боровлев, О. П. Демидов, А. Ф. Пожарский, *Изв. АН, Сер. хим.*, 794 (2002).
28. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, А. С. Ляховненко, И. В. Аксенова, *ХГС*, 629 (2007). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **43**, 527 (2007).]
29. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, А. С. Ляховненко, И. В. Аксенова, *Журн. орган. химии*, **43**, 1581 (2007).
30. A. V. Aksenov, I. V. Borovlev, I. V. Aksenova, S. V. Pisarenko, D. A. Kovalev, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 707 (2008).
31. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, И. В. Аксенова, Д. А. Ковалев, *ХГС*, 1590 (2007). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **43**, 1353 (2007).]
32. A. V. Aksenov, A. S. Lyakhovnenko, I. V. Aksenova, O. N. Nadein, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 1808 (2008).
33. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, И. В. Аксенова, А. С. Ляховненко, Д. А. Ковалев, *Изв. АН, Сер. хим.*, 209 (2008).
34. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, С. В. Писаренко, И. В. Аксенова, *ХГС*, 1080 (2008). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **44**, 868 (2008).]
35. F. Uhlig, *Angew. Chem.*, **66**, 435 (1954).
36. F. C. Schaefer, G. A. Peters, *J. Org. Chem.*, **26**, 2778 (1961).
37. И. В. Аксенова, А. С. Ляховненко, А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, *Журн. общ. химии*, **77**, 1579 (2007).

Ставропольский государственный университет,
ул. Пушкина, 1, Ставрополь 355009, Россия
e-mail: alexaks05@rambler.ru
e-mail: k-biochem-org@stavsru

Поступило 6.01.2012