

*Посвящается 70-летнему юбилею  
профессора А. Ф. Пожарского*

**И. В. Боровлев, О. П. Демидов**

## **СИНТЕЗ АЗА- И ПОЛИАЗАПИРЕНОВ**

**(ОБЗОР)**

Обобщены литературные данные по методам синтеза моно-, ди-, три- и тетразапиренов.

**Ключевые слова:** азапирены, диазапирены, триазапирены, тетразапирены, полиазапирены.

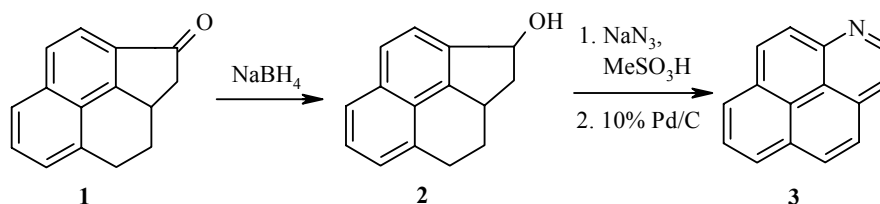
Теоретически возможно представить около 300 изомерных аза- и полиазапиренов с различным расположением атомов азота по периферии пиренового цикла, а также множество моно- и дикатионов с мостиковым, положительно заряженным атомом азота. К настоящему времени, по нашим данным, синтезирована лишь незначительная часть этих ароматических азотистых гетероциклов.

Внимание к азапиренам обусловлено как теоретическими аспектами (ароматичность, термодинамическая устойчивость, механизм электрофильного и нуклеофильного замещения, стабильность ион-радикалов и др.), так и результатами прикладных исследований. В частности, представляет несомненный интерес изменение биологической активности по мере включения в пиреновое кольцо атомов азота, т. е. при переходе от пирена к его аза- и полиазааналогам. Так, если обнаруженные в природных объектах [1–4] моноазапирены проявляют мутагенную и канцерогенную активность [5], то производные наиболее изученных 4(9)- и 2,7-диазапиренов проявляют анальгетическую [6], противовирусную и антибактериальную [4], а также противораковую активность [8–10]. Механизм подобного действия обычно связывают с их известной способностью выступать в качестве интеркаляторов [11–20]. Полиазапирены активно используются в супрамолекулярной химии для конструирования молекулярных устройств [21], соединений с топологической связью [22], молекул типа "гость–хозяин" [23], макрокомплексов с катионами переходных металлов [24, 25].

В настоящем обзоре используется общепринятая сейчас заместительная **аза**-номенклатура этих соединений [26], хотя в ранних работах используются и иные их названия.

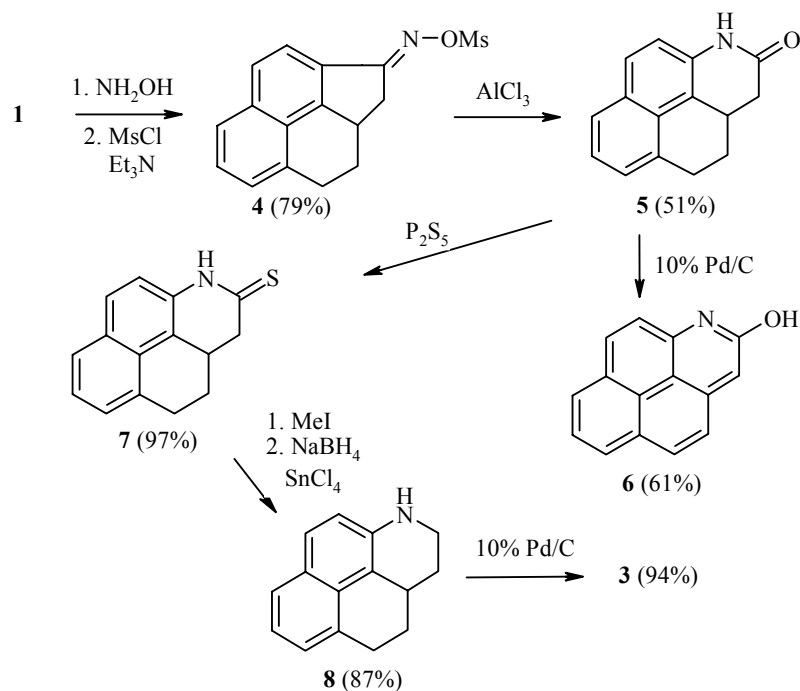
## 1. Азапирены

Впервые 1-азапирен **3** был получен в 1986 г. по следующей схеме [27]:



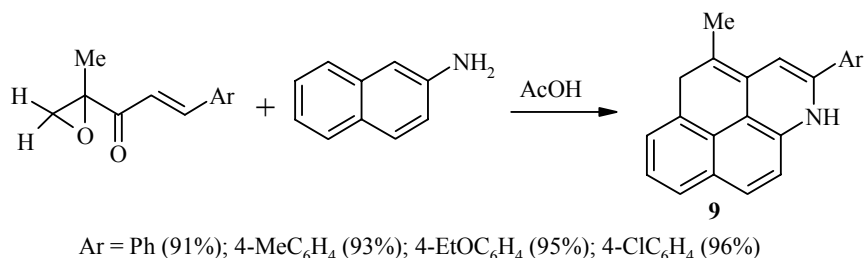
Кетон **1** синтезирован в три стадии исходя из дигидрофеналена. Спирт **2**, полученный восстановлением кетона **1**, вводили далее в модифицированную реакцию Шмидта [28]. Образующийся при этом 4,5-дигидро-1-азапирен, не выделяя, дегидрировали с помощью палладия на угле. Однако выход реакции Шмидта оказался очень низким и суммарный выход 1-азапирена составил лишь 1%.

Более успешным оказался реализованный авторами [27] другой подход к синтезу 1-азапирена. Из кетона **1** был получен оксим, а затем его мезилатное производное **4**. Последнее под действием  $\text{AlCl}_3$  перегруппировывается по Бекману с расширением цикла, образуя лактам **5**.

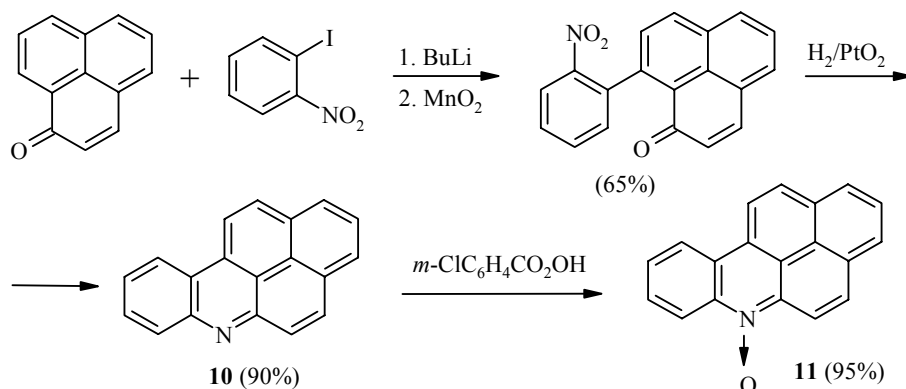


Попытка дегидрирования соединения **5** под действием Pd/C привела к 2-гидрокси-1-азапирену (**6**). Далее амид **5** был превращен в тиоамид **7**; кватернизацией последнего и последующим восстановлением метилтиопродукта получен амин **8**. Ароматизация амина **8** протекает гладко с образованием искомого 1-азапирена **3**.

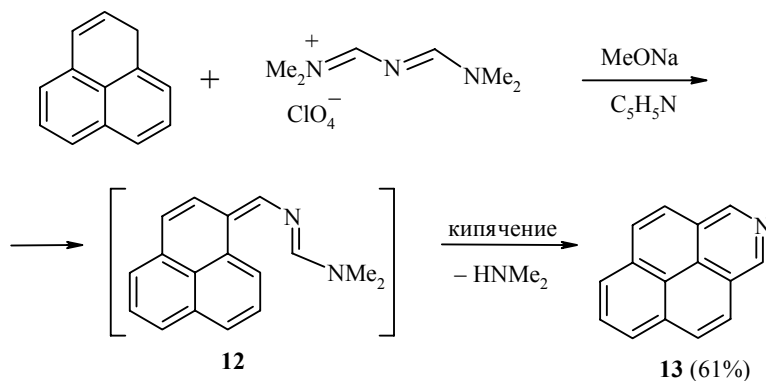
В 1995 г. появилось сообщение об одностадийном синтезе 2-арил-1,5-дигидро-1-азапиренов **9** исходя из  $\beta$ -нафтиламина [29]. Реакция последнего с оксирановым производным  $\alpha,\beta$ -непредельного кетона протекает в ледяной уксусной кислоте при комнатной температуре в атмосфере аргона и с высоким выходом приводит к соединениям **9**. Однако о попытках их ароматизации ничего не сообщается.



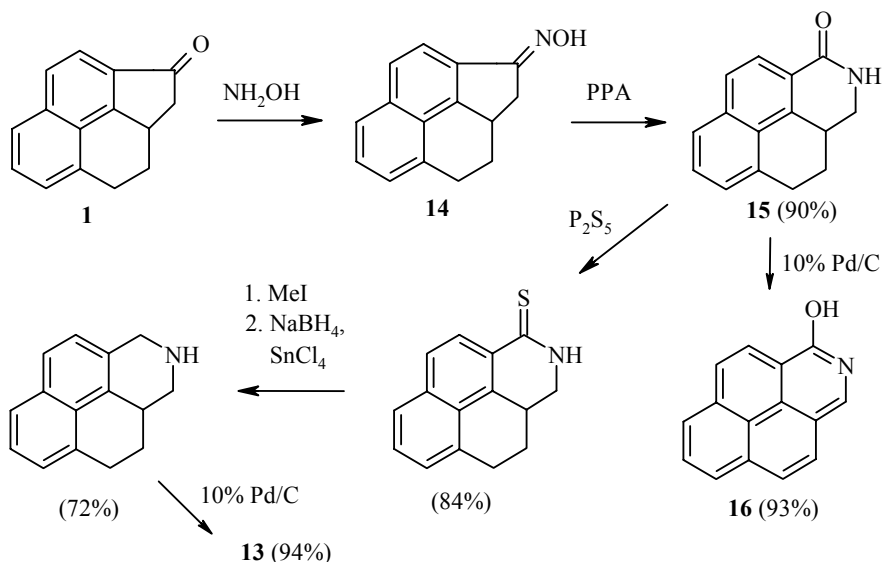
Бензо[*a*]аналог 1-азапирена **10** получен исходя из феналенона и *o*-иоднитробензола с последующей восстановительной циклизацией [30]. Его N-оксид **11** получен при действии *m*-хлорнадбензойной кислоты.



2-Азапирен **13** впервые получен реакцией феналена с перхлоратом 3-диметиламино-2-азапропенилиденаммония и метилатом натрия в пиридине [31]. Предположительно образующийся на первом этапе амин **12** при нагревании циклизуется в 2-азапирен **13**. Сообщается также о синтезе соли – иодида 2-метил-2-азапирения.

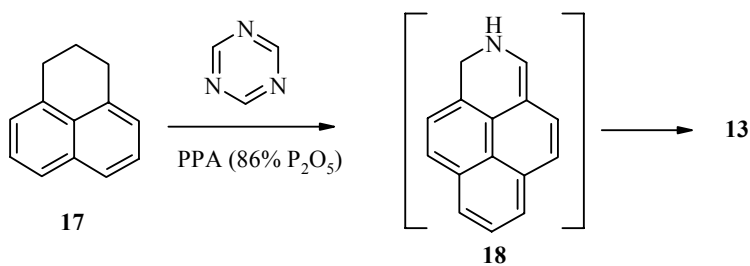


Приведенная ниже схема была разработана авторами [27] для синтеза 1-азапирена. Однако неожиданно ключевая стадия – перегруппировка Бекмана оксима **14**, образующегося из кетона **1** в виде смеси *син*- и *анти*-изомеров в соотношении 9:1, привела в полифосфорной кислоте (ПФК) не к ожидаемому ариламиду, а исключительно к алкиламиду **15**.



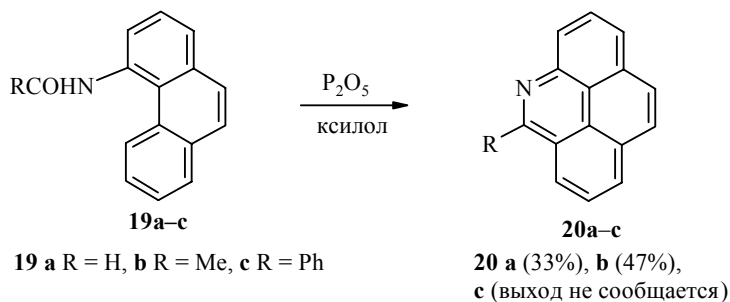
Последующие превращения аналогичны выполненным авторами этой работы для синтеза 1-азапирена (см. выше). В результате были получены 2-азапирен **13**, 1-гидрокси-2-азапирен (**16**), а также другие частично гидрированные производные.

Недавно разработан новый метод *перо*-аннелирования  $[c,d]$ пиридинового цикла к феноленам, гетерофеноленам и их дигидропроизводным [32]. Он заключается в действии на субстрат *сим*-триазинов в среде ПФК. Так, 2-азапирен **13** получен *in one-pot* из дигидрофенолена **17** с выходом 74%.

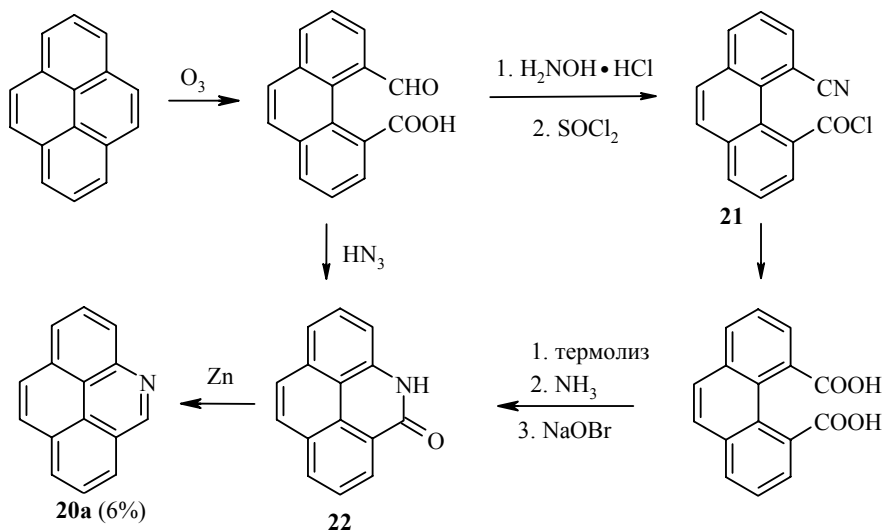


Промежуточно образующийся интермедиат **18** подвергается в ходе реакции спонтанному дегидрированию. Этот метод оказался весьма продуктивным для синтеза других полиазапиренов.

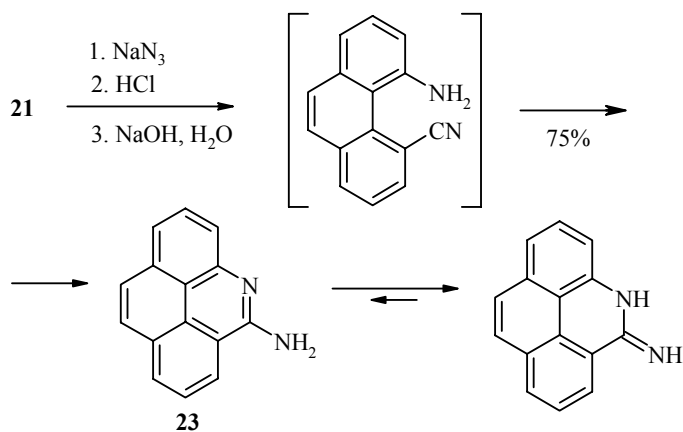
4-Азапирен **20a** и его 5-замещенные **20b,c** получены циклодегидратацией 4-ациламинофенантронов **19a-c** под действием пентоксида фосфора в кипящем ксилоле [33].



Синтез 4-азапирена **20a** и 4,5-дигидро-4-азапирен-5-она (**22**) исходя из пирена реализован авторами [34] по следующей схеме:

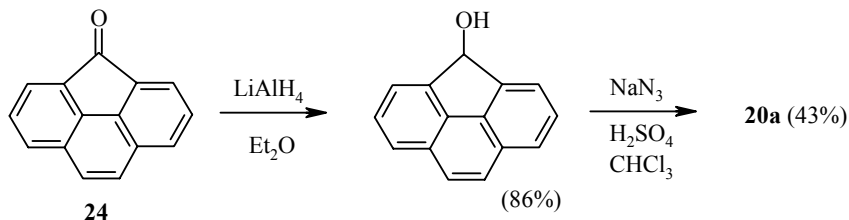


Исходя из соединения **21** получен также 5-амино-4-цианофенантрен, который самопроизвольно циклизуется с образованием 5-амино-4-азапирена (**23**) [34].

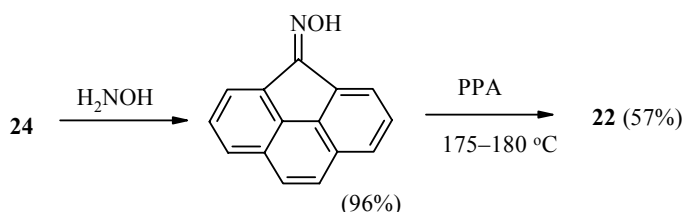


На основании данных УФ спектроскопии авторы [34] делают вывод, что продукт реакции существует в иминоформе.

Еще один подход к синтезу 4-азапирена **20a** продемонстрирован в работе [35]. Он был получен исходя из циклопентано[def]фенантрен-4-она (**24**) в две стадии: восстановлением кетона **24** в соответствующий спирт и последующим действием на него азид натрия и концентрированной серной кислоты в хлороформе.

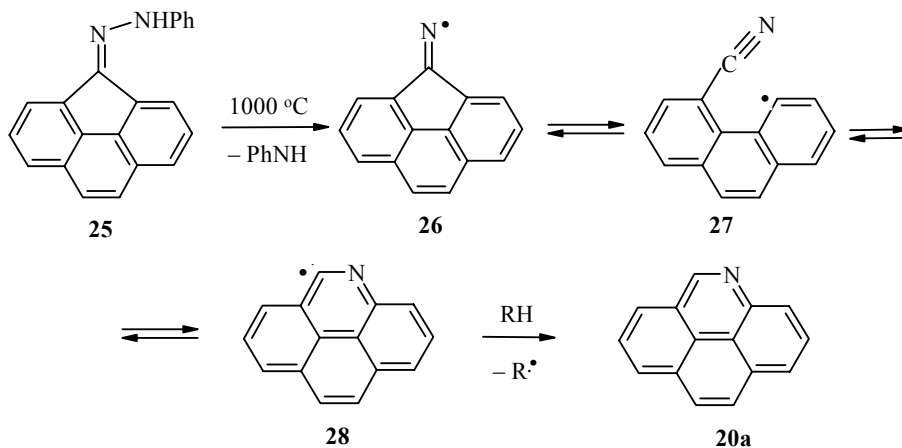


Другой маршрут – получение из кетона **24** его оксима с последующим кратковременным нагреванием последнего в ПФК – приводит к перегруппировке Бекмана с расширением цикла и образованию соединения **22** [35].



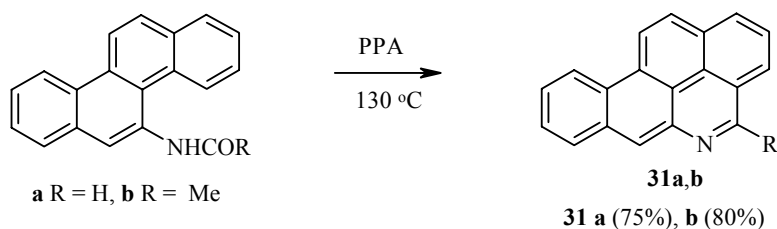
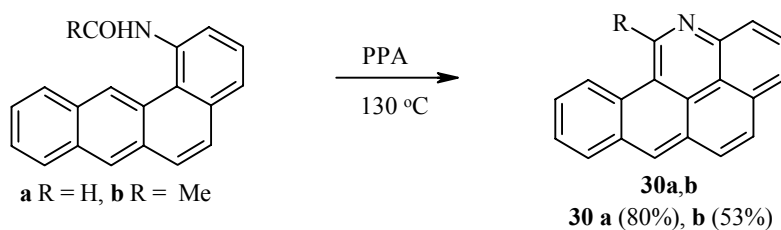
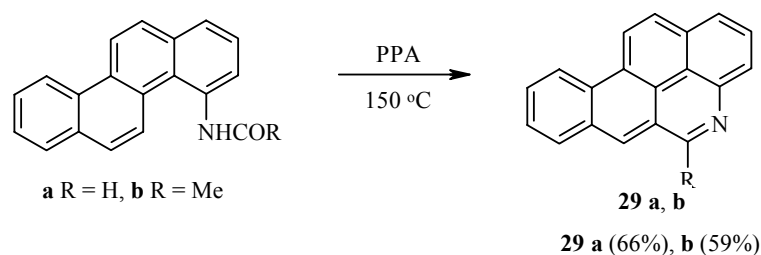
В работе [35] отмечается, что, по данным ИК и ЯМР спектроскопии, соединение **22** не содержит заметных количеств енольного таутомера, т. е. 5-гидрокси-4-азапирена.

Немецкие ученые показали [36], что 4-азапирен (в оригинальной работе он назван бензо[*lmn*]фенантридином) образуется с неожиданно высоким выходом (72%) при кратковременном высокотемпературном пиролизе (1000  $^\circ\text{C}$ , 0.3 с) фенилгидразона циклопентано[def]фенантрен-4-она (метанофенантренона) (**25**). Авторы полагают, что процесс протекает по радикальному механизму в соответствии с приведенной схемой.



Генерируемый в этих условиях кетиминильный радикал **26** подвергается обратимому раскрытию пятичленного цикла с образованием радикала фенольного типа **27**. Самым необычным, по мнению авторов, является внутримолекулярное присоединение радикала **27** к атому азота нитрильной группы с образованием имидоильного радикала **28**.

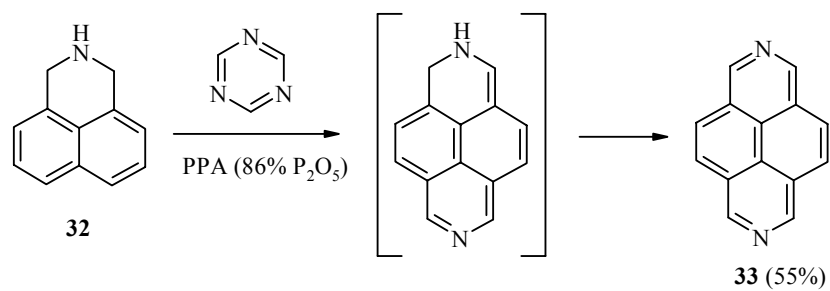
Бензо[*i*]-, бензо[*h*]- и бензо[*a*]аналоги 4-азапирена (**29a,b**, **30a,b** и **31a,b** соответственно) были получены многостадийными синтезами, заключительным этапом которых стала циклодегидратация соответствующих полициклических амидов по Бишлеру–Напиральскому при нагревании в ПФК [37].



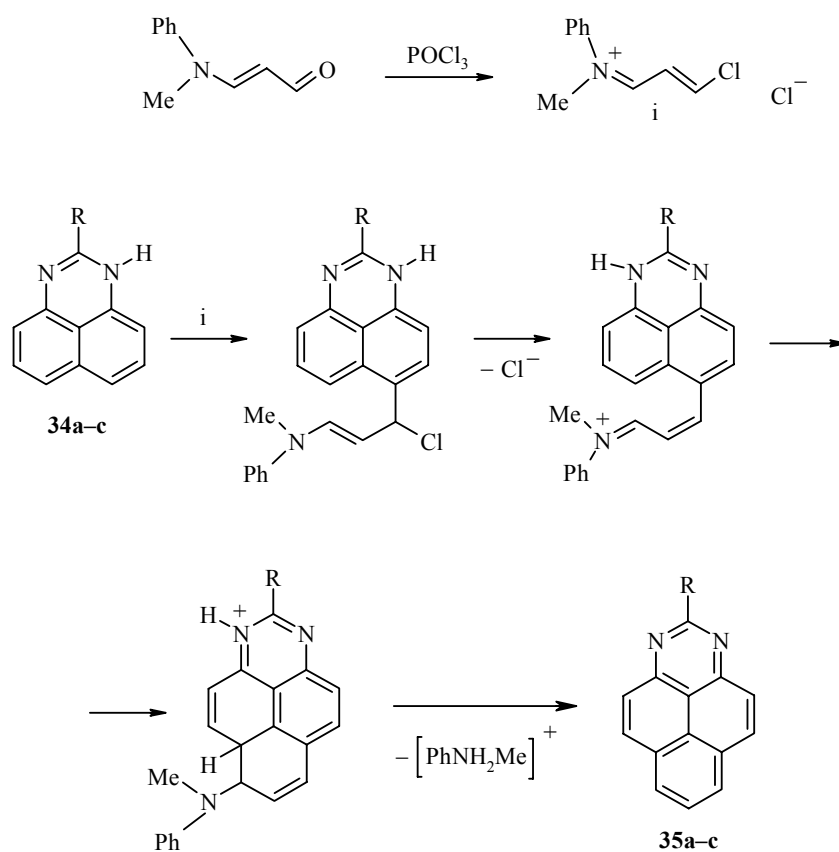
## 2. Диазапирены

Синтез и свойства диазапиренов подробно описаны в нашем предыдущем обзоре [38], поэтому ниже приведены лишь новые данные по их получению.

2,7-Диазапирен **33** подобно 2-азапирену синтезировали из дигидроазафеналена **32**, используя систему *сим*-триазин – ПФК [32].



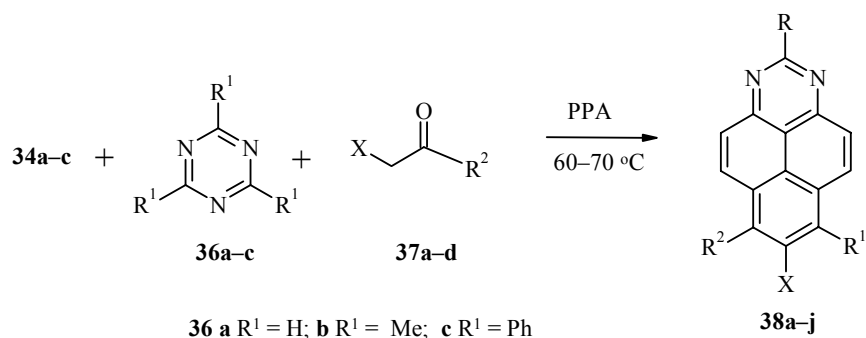
Разработано два новых метода синтеза 1,3-дизапиренов из перимидинов. Первый из них – действие на перимидины **34a–c** реагента Вильсмайера, образованного винилом N-метилформанилида [39].



**34, 35 a** R = H, **b** R = Me, **c** R = Ph

Второй метод – трехкомпонентная реакция между перимидинами **34a–c**, 1,3,5-триазинами **36a–c** и карбонильными соединениями **37a–d** в среде ПФК – с умеренным выходом приводит к соответствующим 1,3-дизапиренам **38a–j** [40] (табл. 1).





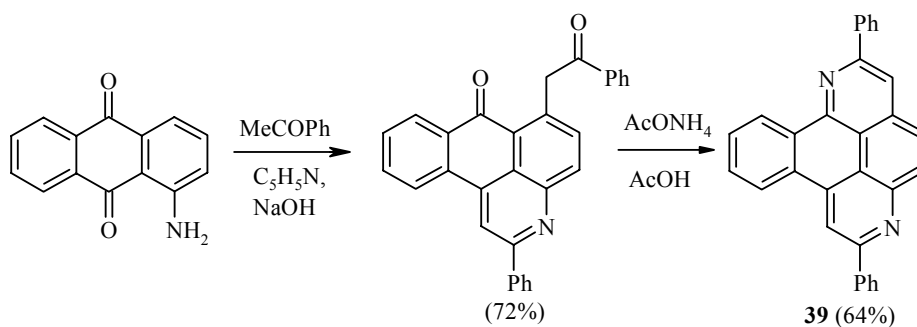
Т а б л и ц а 1

Синтез 1,3-дизапиренов 38a-j из перимидинов 34a-c

R	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	X	Продукт	Выход, %	R	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	X	Продукт	Выход, %
H	H	Me	H	<b>38a</b>	47	H	Me	Ph	H	<b>38f</b>	73
H	Me	Me	H	<b>38b</b>	45	H	Ph	Ph	H	<b>38g</b>	43
H	H	Ph	H	<b>38c</b>	75	Me	H	Me	CO <sub>2</sub> Et	<b>38h</b>	57
H	H	Me	COMe	<b>38d</b>	57	Ph	Ph	Ph	H	<b>38i</b>	51
H	H	Me	CO <sub>2</sub> Et	<b>38e</b>	43	H	Me	Me	COMe	<b>38j</b>	37

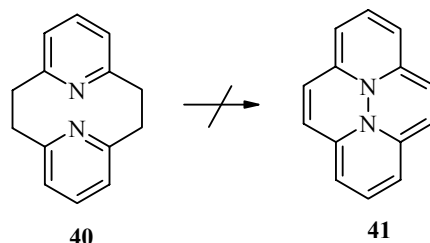
Предполагаемый авторами механизм этого необычного превращения приведен в работе [40].

1,6-Дизапирен до сих пор неизвестен. Однако его бензоаналог – 2,7-дифенил-1,6-дизабензо[*e*]пирен (**39**) получен конденсацией ацетофенона с 1-аминоантрахиноном в условиях щелочного катализа и последующей циклизацией образующегося продукта при кипячении с ацетатом аммония в уксусной кислоте [41].

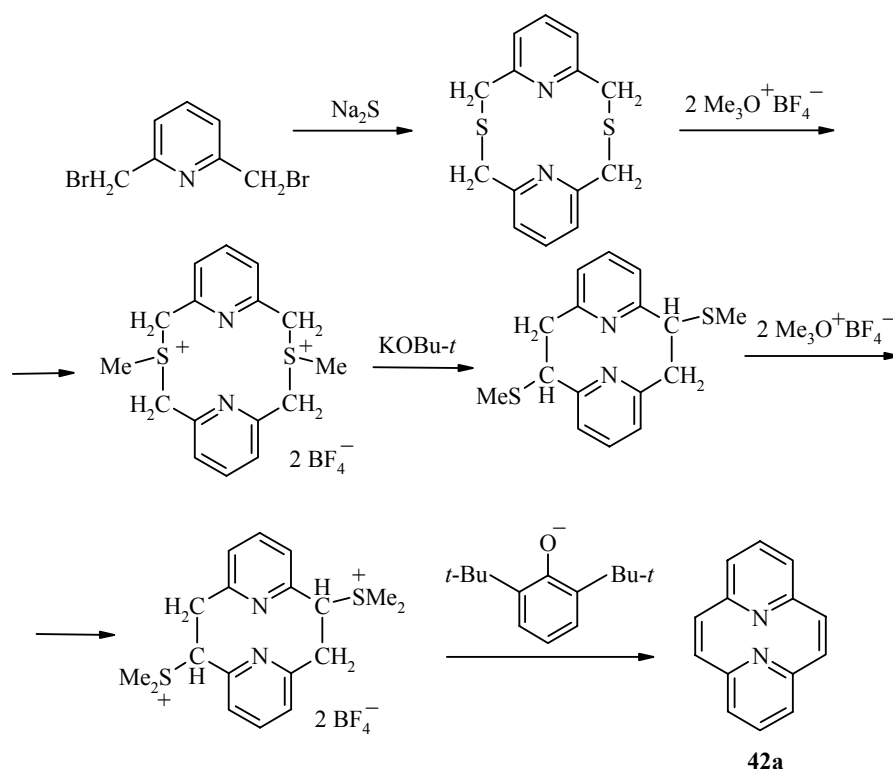


Во второй половине XX века были предприняты попытки синтеза 10b,10c-дигидро-10b,10c-дизапирена **41**. Это соединение представляло большой теоретический интерес, поскольку содержало 14 периферийных  $\pi$ -электронов, что соответствовало правилу Хюккеля и, следовательно, оно могло обладать ароматичностью. Кроме того, предполагалась потен-

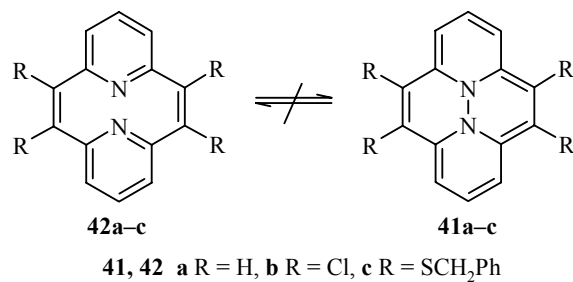
циальная возможность существования валентной таутомерии между **41** и **42**, что связывало бы циклофановые и циклазиновые системы. Однако попытка получить **41** исходя из синтезированного [2,2](2,6)пиридинофана (**40**) успехом не увенчалась [42].



В 1970 г. многостадийным путем был впервые получен валентный изомер 10b,10c-дигидро-10b,10c-диазапирена – [2,2](2,6)пиридинофан-1,9-диен (**42a**) [43]. Синтез этого соединения представляет самостоятельный интерес, поскольку демонстрирует возможность преобразования сульфидной связи (C–S–C) в двойную связь углерод–углерод (C=C).



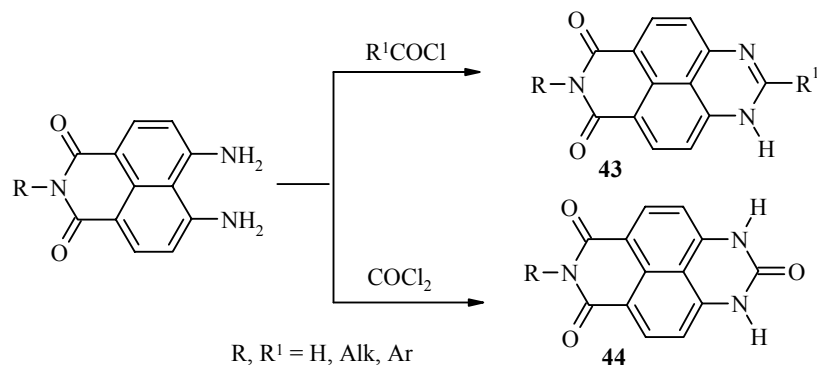
Позже, иным путем были синтезированы соединения **42b,c** [44]. Выяснилось, однако, что ни один из [2,2]метацicloфанов **42a–c** не подвергается самопроизвольному, кислотнокатализируемому или фотоиндуцируемому превращению в валентный таутомер – 10b,10c-дигидро-10b,10c-диазапирен **41**.



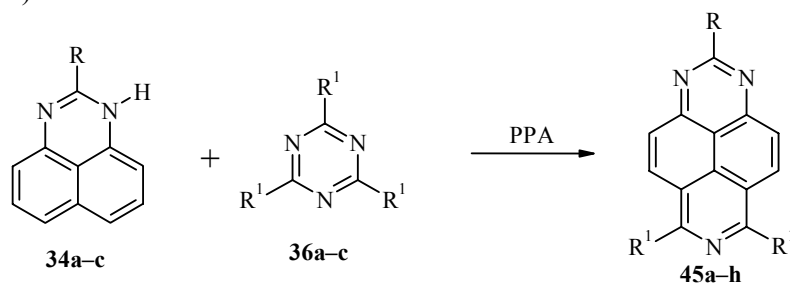
Квантово-химические расчеты также показали большую стабильность **42** по сравнению с **41** [43].

### 3. Триазапирены

Частично гидрированные производные 1,3,7-триазапирена **43** и **44** были синтезированы многостадийным путем, заключительным этапом которого была циклизация 4,5-диаминонафталимидов [45, 46].



Ароматические 1,3,7-триазапирены **45a-h** были получены недавно взаимодействием перимидинов **34a-c** с 1,3,5-триазидами **36a-c** в ПФК [32] (табл. 2).



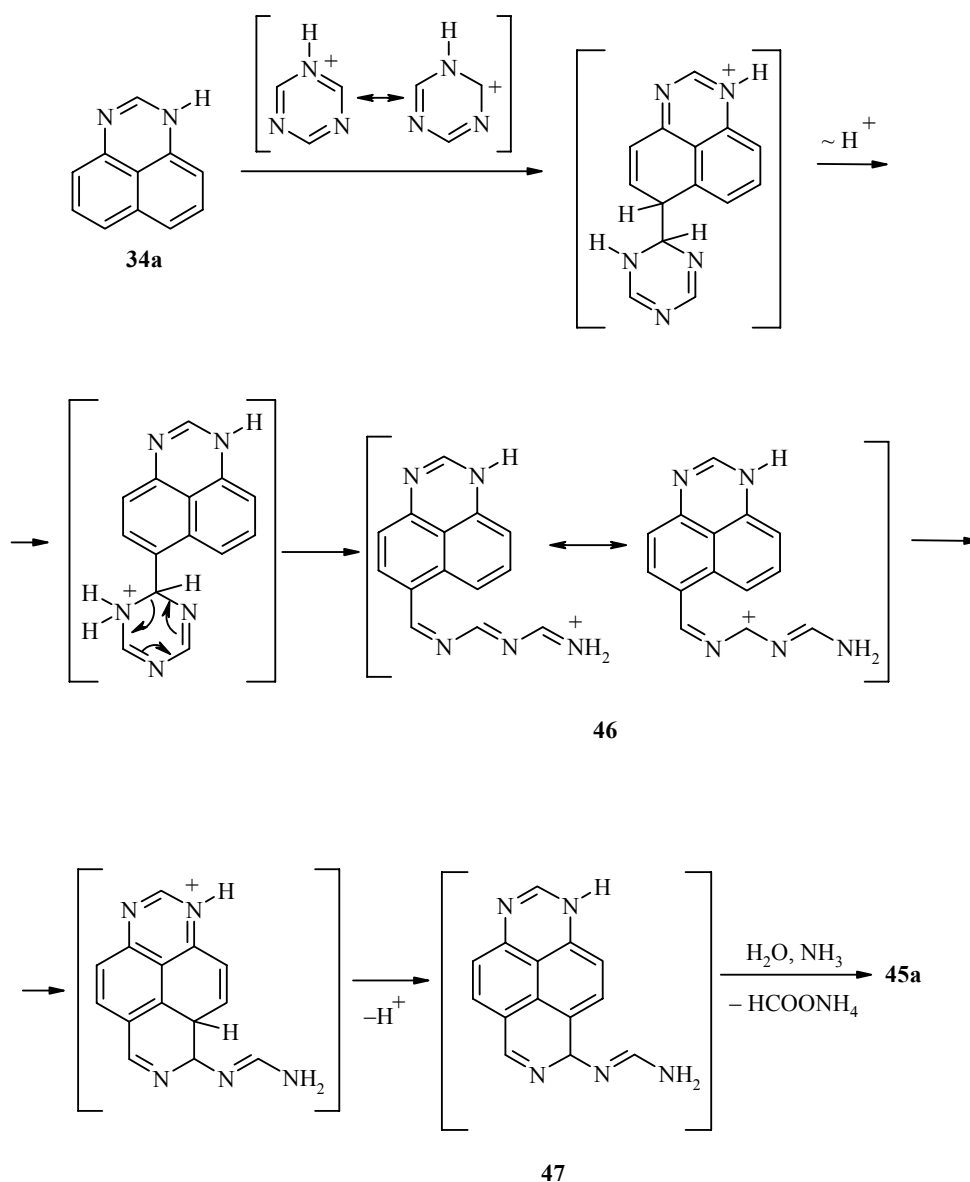
Т а б л и ц а 2

Синтез 1,3,7-триазапиренов **45a-h**

Продукт	R	R <sup>1</sup>	Выход, %	Продукт	R	R <sup>1</sup>	Выход, %
<b>45a</b>	H	H	63	<b>45e</b>	Me	Me	52
<b>45b</b>	Me	H	55	<b>45f</b>	Ph	Me	60
<b>45c</b>	Ph	H	56	<b>45g</b>	H	Ph	78
<b>45d</b>	H	Me	72	<b>45h</b>	Ph	Ph	40

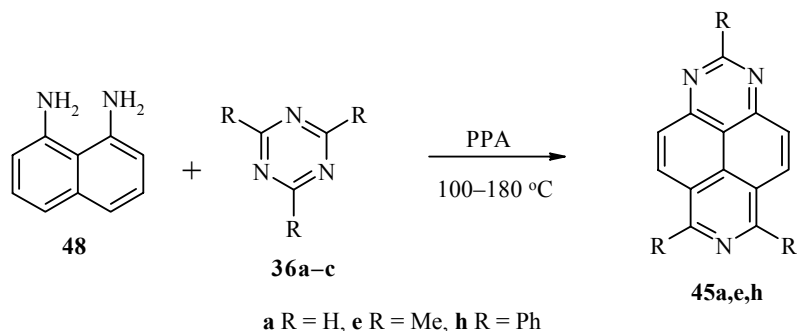
Следует отметить, что, если реакции перимидинов с триазином **36a** протекают при 100 °С, то использование его замещенных **36b,c** требует более жестких условий (140 и 180 °С соответственно).

Наиболее вероятный, на взгляд авторов [32], механизм взаимодействия перимидинов с триазином (на примере образования **45a**) включает электрофильную атаку **34a** катионом 1,3,5-триазиния по положению 6(7), раскрытие триазинового цикла с образованием интермедиата **46** и его последующую циклизацию по *peri*-положению. Ароматизация **47** происходит путем элиминирования амидина, который в ходе выделения подвергается гидролизу.



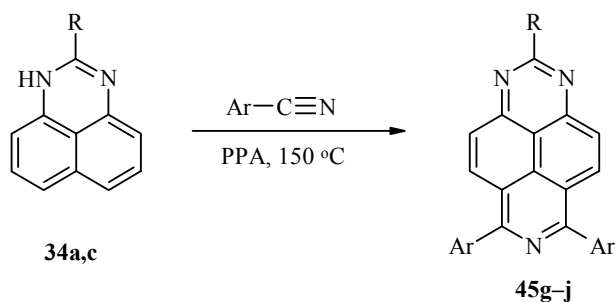
Как было установлено несколько ранее, при более низкой температуре перимидины формируются (ацилируются) в системе 1,3,5-триазины – ПФК в результате гидролиза интермедиатов типа **46** или их предшественников [47] в ходе выделения. Это косвенно подтверждает предложенный механизм образования 1,3,7-триазапиренов из перимидинов.

Ранее сообщалось, что взаимодействие 1,8-диаминонафталина **48** с 1,3,5-триазином **36a** без катализатора приводит к перимидину [48]. Однако при нагревании диамина **48** с триазидами **36a–c** в среде ПФК выше 100 °С единственными продуктами реакции оказались 1,3,7-триазапирены **45a,e,h** [49].



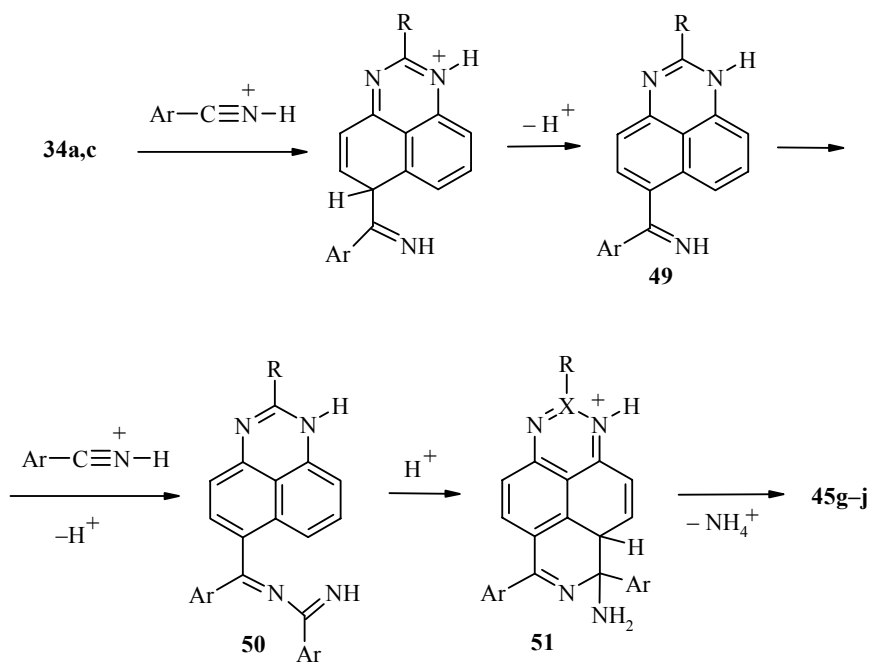
Остановить реакцию на стадии образования соответствующих перимидинов не удалось, поскольку при более низких температурах она не протекает. Иными словами, лимитирует этот процесс стадия первичной циклизации диамина **48**; в дальнейшем он проходит в соответствии с приведенной выше схемой.

Неожиданно завершилась попытка ацилирования перимидинов **34a,c** избытком нитрилов ароматических кислот в среде ПФК – в этом случае единственными продуктами реакции оказались соответствующие 1,3,7-триазапирены [50].

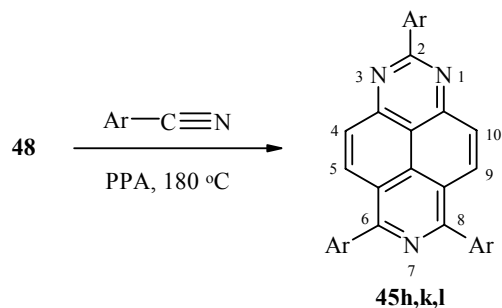


**45 g** R = H, Ar = Ph (68%), **h** R = Ar = Ph (30%), **i** R = H, Ar = 4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (77%),  
**j** R = H, Ar = 4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (49%)

Вероятный механизм этого превращения включает региоселективную атаку нитрилиевого катиона сначала по положению 6(7) соединения **34a,c**, а затем по атому азота кетимина **49** с образованием интермедиата **50** и его последующей циклизацией по *пери*-положению. Ароматизация **51** протекает путем элиминирования катиона аммония.

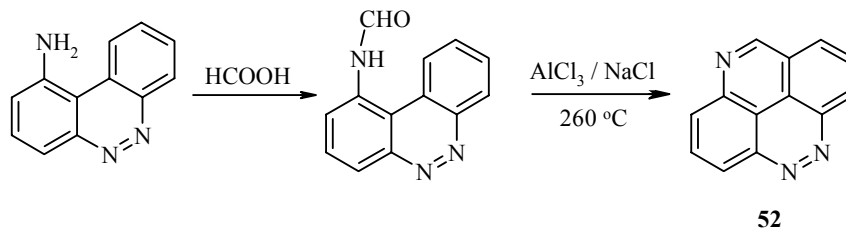


Взаимодействие 1,8-диаминонафталина **48** с ароматическими нитрилами в среде ПФК также завершается образованием соответствующих 2,6,8-триарил-1,3,7-триазапиренов **45h,k,l** [48].



**45 h** Ar = Ph (35%), **k** Ar = 4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (24%), **l** Ar = 4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (27%)

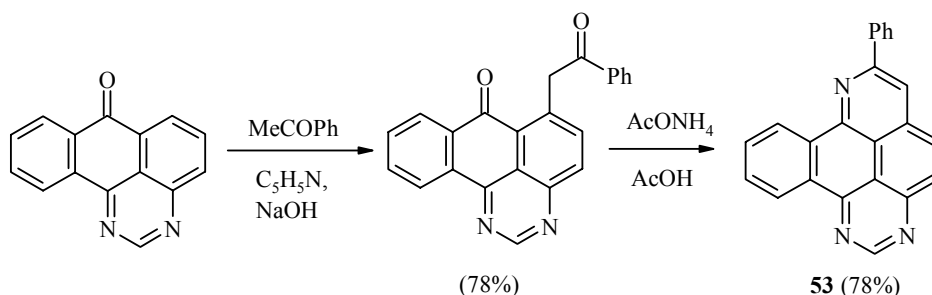
4,5,9-Триазапирен (**52**) был впервые получен по следующей схеме [45]:



Завершающая стадия – конденсация 1-формамидбензо[с]циннолина –

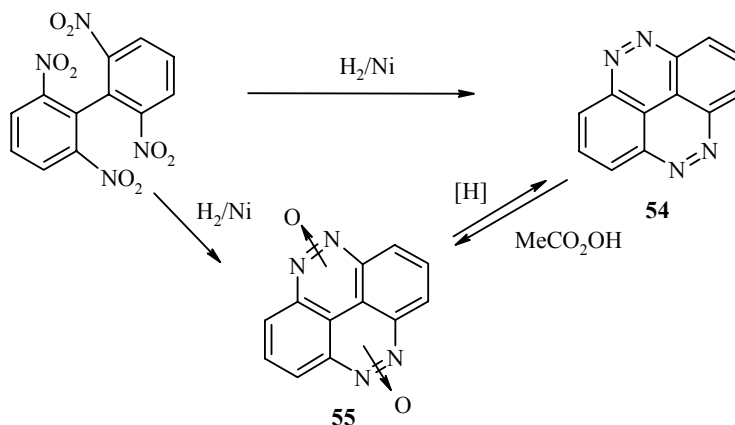
протекает в жестких условиях.

7-Фенил-1,3,8-триазабензо[*e*]пирен (**53**) получен конденсацией ацетофенона с 7Н-бензо[*e*]перимидин-7-оном в условиях щелочного катализа и последующей циклизацией образующегося продукта при кипячении с ацетатом аммония в уксусной кислоте [41].



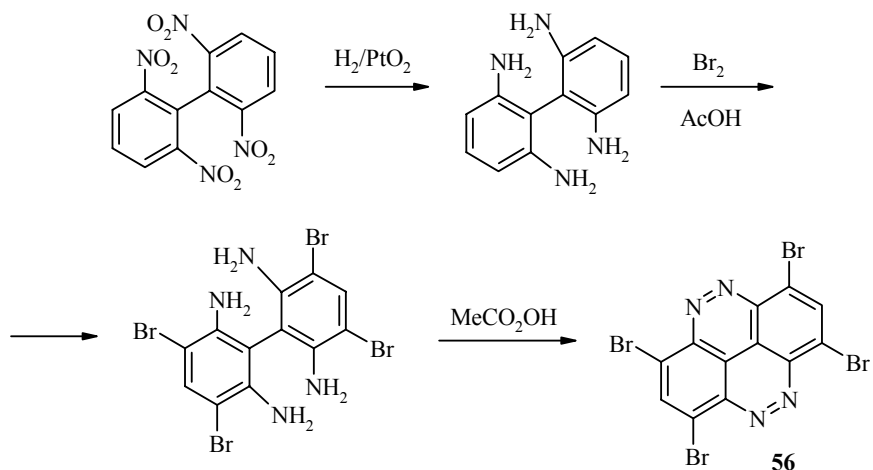
#### 1.4. Тетраазапирены

Впервые синтез 4,5,9,10-тетраазапирена (**54**) был осуществлен гидрированием 2,2',6,6'-тетранитродифенила [52].



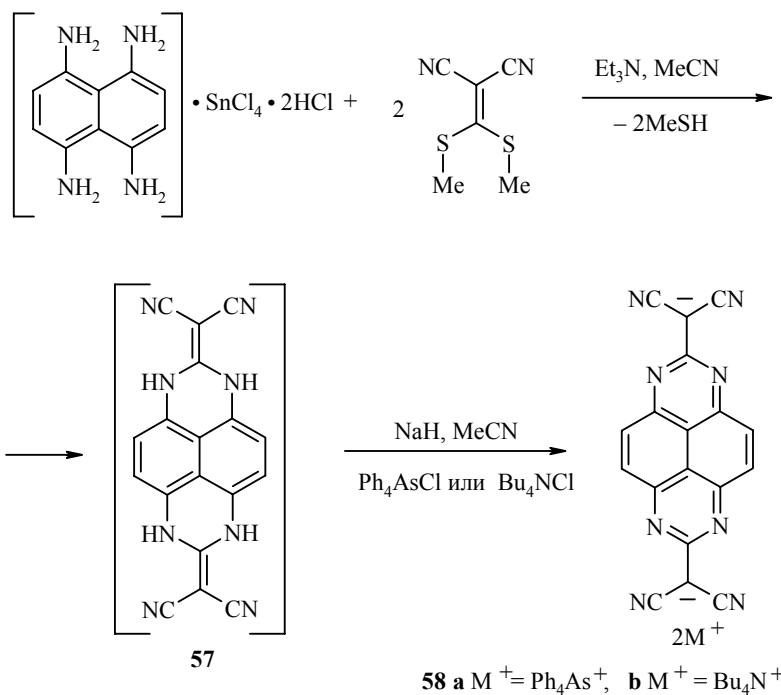
Позже выяснилось [53], что в более мягких условиях основным продуктом является смесь ди-*N*-оксидов тетраазапирена **55**, которая в условиях дальнейшего гидрирования или восстановления системой SnCl<sub>2</sub>/HCl дает тетраазапирен **54**. На основании УФ и ИК спектральных данных авторы считают, что **55** – смесь 4,9- и 4,10-ди-*N*-оксидов. В свою очередь, тетраазапирен **54** легко окисляется надуксусной кислотой в ди-*N*-оксиды **55** [53].

1,3,6,8-Тетрабром-4,5,9,10-тетраазапирен (**56**) синтезирован из 2,2',6,6'-тетранитродифенила в соответствии со следующей схемой [54]:



Аналогичным путем синтезирована большая серия 1,3,6,8-тетраарил-4,5,9,10-тетраазапиренов [54].

В работе [55] сообщается, что двойная оловянная соль 1,4,5,8-тетрааминонафталина, полученная из 1,4,5,8-тетранитронафталина [56], при взаимодействии с 1,1-бис(метилтио)дицианозетиленом образует сложную реакционную смесь, предположительно содержащую производное 1,3,6,8-тетраазапирена **57**.

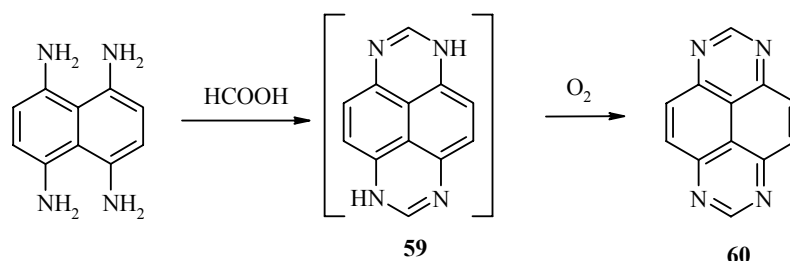


Поскольку выделить из нее какой-либо продукт не удалось, авторы обработали реакционную массу гидридом натрия в присутствии солей аммония или арсония. Продуктами этих превращений оказались весьма устойчивые соли **58a,b** с органическим дианионом. Дианион **58** оказался

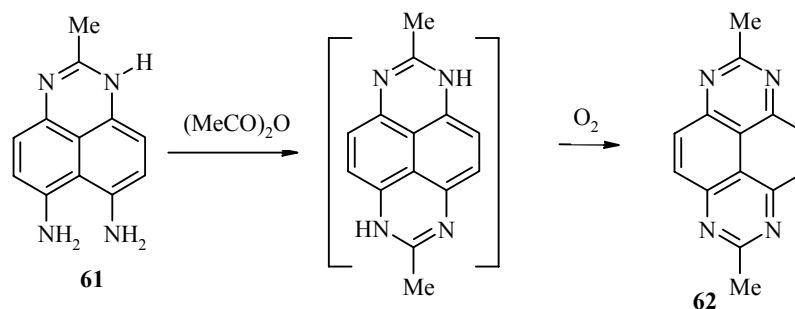


столь устойчивым, что попытки окислить его химическим путем успехом не увенчались; электрохимически он окисляется в одну стадию до соответствующего анион-радикала и восстанавливается до относительно стабильного трианион-радикала.

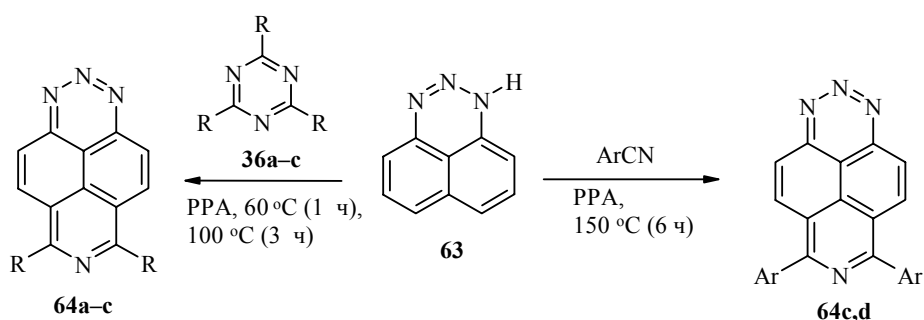
1,4,5,8-Тетрааминонафталин при нагревании с муравьиной кислотой образует красный диперимидин **59**, который чрезвычайно легко окисляется кислородом воздуха до чуть зеленоватого 1,3,6,8-тетраазапирена (**60**) [57, 58].



2,7-Диметил-1,3,6,8-тетраазапирен (**62**) получен при взаимодействии 2-метил-6,7-диаминопериимидина (**61**) с уксусным ангидридом [59, 60].



1,2,3,7-Тетраазапирены **64a–d** синтезированы при взаимодействии 1Н-нафто[1,8-*de*]триазина (1,2,3-триазафеналена, **63**) с 1,3,5-триазидами или ароматическими нитрилами в ПФК [32, 50, 61].



**64 a** R = H (68%), **b** R = Me (55%), **c** R = Ph (58%); **c** Ar = Ph (61%),  
**d** Ar = 4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (23%)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Blumer, W. W. Youngblood, *Science*, **188**, 53 (1974).
2. W. Cautreels, K. Van Cauwenberghe, *Atmos. Environ.*, **10**, 477 (1976).
3. M. W. Dong, D. C. Locke, D. Hoffmann, *Environ. Sci. Technol.*, **11**, 612 (1977).
4. S. Wakeham, *Environ. Sci. Technol.*, **13**, 1118 (1979).
5. M. J. Tanga, R. M. Miao, E. J. Reist, *Mutat. Res.*, **172**, 11 (1986).
6. A. D. Andricopolo, L. A. Muller, V. C. Filho, G.-N. R. J. Cani, R. A. Yunes, *Farmaco*, **55**(4), 319 (2000); *Chem. Abstr.*, **133**, 217586.
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. R. G. Harvey, N. E. Geacintov, *Acc. Chem. Res.*, **21**, 66 (1988).
12. U. Pindur, M. Haber, K. Sattler, *J. Chem. Educ.*, **70**, 263 (1993).
13. M. Cory, D. D. McKee, J. Kagan, J. A. Miller, *J. Am. Chem. Soc.*, **107**, 2528 (1985).
14. H.-C. Becker, B. Norden, *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 5798 (1997).
15. H.-C. Becker, A. Broo, B. Norden, *J. Phys. Chem.*, **101**, 8853 (1997).
16. A. M. Brun, A. Harriman, *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 8153 (1991).
17. I. Piantanida, V. Tomisic, M. Zinic, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*, 375 (2000).
18. B. S. Palm, I. Piantanida, M. Zinic, H.-J. Schneider, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*, 385 (2000).
19. S. Marcz, Lj. Glavas-Obrovac, I. Karner, *Chemotherapy*, **51**, 217 (2005).
20. I. Piantanida, M. Žinić, S. Marcz, Lj. Glavaš-Obrovac, *J. Phys. Org. Chem.*, **20**, 285 (2007).
21. V. Balzani, A. Credi, S. J. Langford, F. M. Raymo, J. F. Stoddart, M. Venturi, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 3542 (2000).
22. P. R. Ashton, S. E. Boyd, A. Brindle, S. J. Langford, S. Menzer, L. Pérez-García, J. A. Preece, M. Raymo, N. Spencer, J. F. Stoddart, A. J. P. White, D. J. Williams, *New J. Chem.*, **23**, 587 (1999).
23. J. Jazwinski, A. J. Blacker, J.-M. Lehn, M. Cesario, J. Guilhem, C. Pascard, *Tetrahedron Lett.*, **28**, 6057 (1987).
24. P. J. Stang, D. H. Cao, S. Saito, A. M. Arif, *J. Am. Chem. Soc.*, **117**, 6273 (1995).
25. P. J. Stang, B. Olenyuk, J. Fan, A. M. Arif, *Organometallics*, **15**, 904 (1996).
26. Р. Кан, О. Дермер, *Введение в химическую номенклатуру*, Химия, Москва, 1983, с. 116.
27. M. J. Tanga, E. J. Reist, *J. Heterocycl. Chem.*, **23**, 747 (1986).
28. S. Eguchi, K. Asai, T. Sasaki, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1147 (1984).
29. A. M. Звонок, *XTC*, 1002 (1995). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **31**, 875 (1995)].
30. K. Fukuhara, N. Miyata, S. Kamiya, *Tetrahedron Lett.*, **31**, 3743 (1990).
31. R. Kirchlechner, C. Jutz, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **7**, 376 (1968).
32. A. V. Aksenov, I. V. Borovlev, I. V. Aksenova, S. V. Pisarenko, D. A. Kovalev, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 707 (2008).
33. J. W. Cook, H. S. Thomson, *J. Chem. Soc.*, 395 (1945).
34. H. Medenwald, *Chem. Ber.*, **86**, 287 (1953).
35. T. Kimura, M. Minabe, K. Suzuki, *J. Org. Chem.*, **43**, 1247 (1978).
36. J. Hofmann, K. Schulz, G. Zimmermann, *Tetrahedron Lett.*, **37**, 2399 (1996).
37. R. E. Phillips, Jr., G. H. Daub, J. A. Hunt, *J. Org. Chem.*, **37**, 2030 (1972).
38. И. В. Боровлев, О. П. Демидов, *XTC*, 1612 (2003). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **39**, 1417 (2003)].

39. И. В. Аксенова, А. С. Ляховненко, А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, *ЖОХ*, **77**, 1579 (2007).
40. A. A. Aksenov, A. S. Lyahovnenko, I. V. Aksenova, O. N. Nadein, *Tetrahedron Lett.*, **49**, 1808 (2008).
41. L. W. Deady, C. L. Smith, *Aust. J. Chem.*, **56**, 1219 (2003).
42. W. Baker, K. M. Buggle, J. F. W. McOmie, D. A. M. Watkins, *J. Chem. Soc.*, 3594 (1958).
43. V. Boekelheide, J. A. Lawson, *Chem. Commun.*, 1558 (1970).
44. H. J. J.-B. Martel, S. McMahon, M. Rasmussen, *Aust. J. Chem.*, **32**, 1241 (1979).
45. Б. М. Красовицкий, Э. А. Шевченко, *ЖОрХ*, 1257 (1965).
46. O. Christmann, *Liebigs Ann. Chem.*, **716**, 147 (1968).
47. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, А. С. Ляховненко, И. В. Аксенова, *ХТС*, 629 (2007). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **43**, 527 (2007)].
48. E. J. Grundmann, A. J. Kreutzberger, *J. Am. Chem. Soc.*, **77**, 6559 (1955).
49. И. В. Боровлев, А. В. Аксенов, И. В. Аксенова, С. В. Писаренко, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2275 (2007).
50. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, И. В. Аксенова, А. С. Ляховненко, Д. А. Ковалев, *Изв. АН, Сер. хим.*, 209 (2008).
51. И. В. Аксенова, И. В. Боровлев, А. С. Ляховненко, С. В. Писаренко, А. В. Аксенов, *ХТС*, 788 (2007). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **43**, 665 (2007)].
52. H. Stetter, M. Schwarz, *Chem. Ber.*, **90**, 1349 (1957).
53. P. F. Holt, R. Oakland, *J. Chem. Soc.*, 6090 (1964).
54. M. J. Sienkowska, J. M. Farrar, F. Zhang, S. Kusuma, P. A. Heiney, P. Kaszynski, *J. Mater. Chem.*, **17**, 1399 (2007).
55. F. Wudl, M. L. Kaplan, B. K. Teo, J. Marshall, *J. Org. Chem.*, **42**, 1666 (1977).
56. E. R. Ward, C. D. Johnson, L. A. Day, *J. Chem. Soc.*, 487 (1959).
57. O. Dimrot, H. Roos, *Liebigs Ann. Chem.*, **456**, 177 (1927).
58. F. Gerson, *Helv. Chim. Acta.*, **47**, 1484 (1964).
59. А. Ф. Пожарский, В. Н. Королева, И. В. Комиссаров, И. Т. Филиппов, И. В. Боровлев, *Хим.-фарм. журн.*, **10**, № 12, 34 (1976).
60. В. Н. Королева, Дис. канд. хим. наук, Ростов-на-Дону, 1975.
61. А. В. Аксенов, И. В. Боровлев, И. В. Аксенова, Д. А. Ковалев, *ХТС*, 1590 (2007). [*Chem. Heterocycl. Comp.*, **43**, 1353 (2007)].

Ставропольский государственный университет,  
Ставрополь 355009, Россия  
e-mail: k-biochem-gcs@stavsru.ru

Поступило 13.03.2008