

Посвящается академику РАН Ю. Н. Бубнову в связи с его юбилеем

И. В. Леденева^{1*}, В. В. Диденко¹, Х. С. Шихалиев¹

ХИМИЯ СОЛЕЙ ПИРАЗОЛ-3(5)-ДИАЗОНИЯ (ОБЗОР)

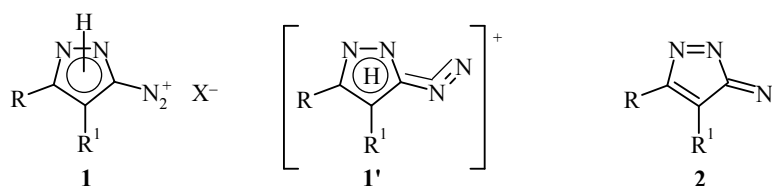
Впервые обобщены экспериментальные результаты по методам получения, строению, реакционной способности, а также синтетическим возможностям солей пиразол-3(5)-дiazония. Особое внимание уделено реакциям гетероциклизации на основе указанных соединений.

Ключевые слова: пиразоланнелированные системы, соли пиразол-3(5)-дiazония, азосочетание, гетероциклизация.

Со времени открытия α -дiazопроизводных пиразола миновало более ста лет. За этот период был накоплен солидный материал, касающийся устойчивости, строения и превращений этих соединений. Но только во второй половине XX в. химия солей пиразол-3(5)-дiazония получила бурное развитие в многочисленных работах исследователей из разных стран. Основной вклад в решение многих проблем этой области внесли немецкие, египетские, русские и японские учёные. Однако тщательное изучение мировой химической литературы показало, что систематизация огромного массива данных по солям пиразол-3(5)-дiazония до настоящего времени не проводилась. Некоторые аспекты, связанные с их свойствами, обсуждаются в ряде обзоров и монографий общего характера [1–17].

1. СТРОЕНИЕ, ПОЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ α -ДИАЗОПРОИЗВОДНЫХ ПИРАЗОЛА

Различают две формы α -дiazосоединений пиразольного ряда – пиразол-3(5)-дiazониевые соли **1** и 3-дiazопиразолы **2**.



X⁻ – анион сильной кислоты
или комплексный анион

Подробное обсуждение вопросов, связанных с химией 3-дiazопиразолов **2**, выходит за рамки настоящего обзора. Краткие обзоры строения и свойств этих объектов даны в ряде источников [5–7, 10, 18–21].

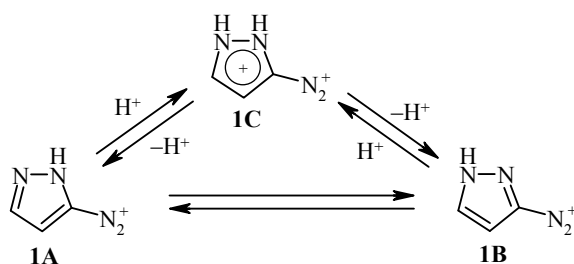
Устойчивость и высокая реакционная способность солей пиразол-3(5)-дiazония обеспечивается значительной резонансной стабилизацией *N*-незамещённого иона **1'**.

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

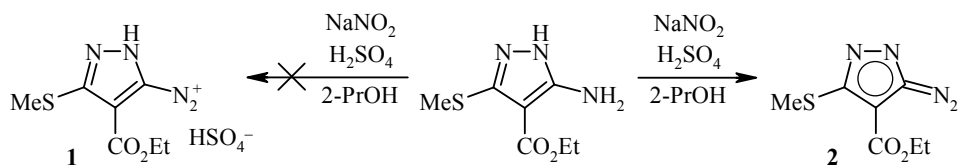
Терминальный атом азота является основным реакционным центром в превращениях солей пиразол-3(5)-диазония, идущих без отщепления азота. Один из важнейших факторов реакционной способности любого органического соединения – природа заместителей. В общем случае, электроноакцепторные заместители, как и атомы азота цикла, способствуют повышению электрофильности диазогруппы [5, 22, 23]. Наличие донорных заместителей стабилизирует катион диазония, но уменьшает положительный заряд на терминальном атоме азота (снижает электрофильность диазогруппы). В соответствии с этим 4-нитро- и 4-цианопиразол-3(5)-диазониевые соли могут быть нагреты в водных растворах почти до кипения без заметного разложения [24].

Данных рентгеноструктурных исследований для пиразол-3(5)-диазосолей не обнаружено. Однако, исходя из имеющихся результатов РСА изомерного хлорида 1*H*-3,5-диметилпиразол-4-диазония [25], можно отметить, что соединения **1** по строению будут весьма похожи на свои ароматические карбоциклические аналоги. Укороченные связи C–N (1.351 Å) в молекуле соли пиразол-4-диазония указывают на высокую степень сопряжения диазониевой группы с гетероароматическим циклом.

С целью изучения строения и таутомерных превращений трёх форм катиона в кислой среде для гексафторфосфата пиразол-3(5)-диазония был применён расчётный метод [26]. В результате расчётов теплот образования и энтальпий протонирования трёх форм катиона по методу AM1 выявлено, что равновесие смещено в сторону образования 3-диазотаутомера **1B**, а его протонирование с образованием бикатиона **1C** – энергетически невыгодный процесс.



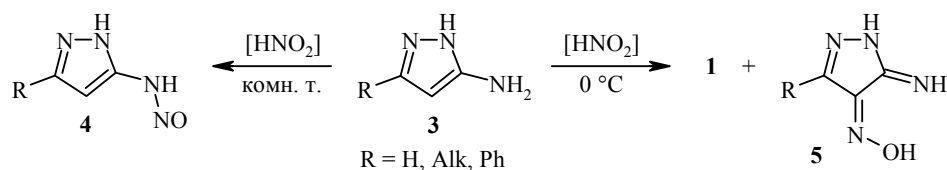
Строение этилового эфира 5-диазо-3-метилсульфанилпиразол-4-карбоновой кислоты (**2**) было изучено методами рентгеноструктурного анализа, спектроскопии ИК и ЯМР ^1H [27]. В условиях реакции диазотирования авторам не удалось получить ожидаемый гидросульфат пиразол-3(5)-диазония **1**.



Молекулы соединения **2** в кристалле связаны друг с другом электростатическими силами посредством π – π -взаимодействия атома кислорода карбонильной группы и атома азота диазогруппы, связанного с циклом. Высокое сопряжение последней с гетероциклом также отражается на длине экзоциклической связи C–N (1.358 Å).

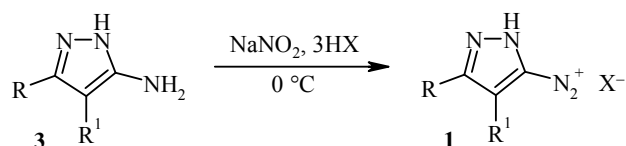
Первые упоминания о действии азотистой кислоты на производные 5-аминопиразолов принадлежат, по-видимому, немецким химикам Сейделу [28] и Кнорру [29]. Они предположили, что при взаимодействии впервые полученных ими α -аминопиразолов **3** с нитритом натрия в кислой среде

образуются нитрозаминосоединения **4**, которые могут давать ряд продуктов в дальнейших реакциях конденсации. Однако их выводы о природе и строении полученных веществ оказались неверными, а применяемые условия реакций исключали образование солей пиразол-3(5)-дiazония.



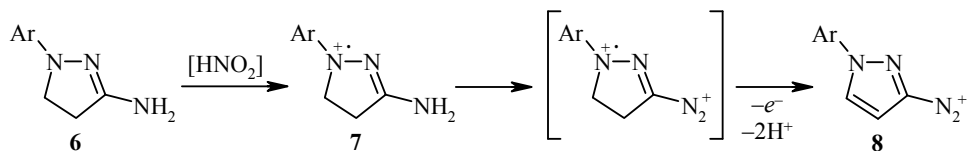
В работах [30–32] сообщается об успешном диазотировании α -аминопиразолов различными методами, в том числе "прямым" методом (нитрит натрия, трёхкратный избыток сильной кислоты, 0 °C) [33]. Незамещённое положение 4 пиразольного цикла является весьма реакционноспособным, вследствие чего при обработке азотистой кислотой в обычных условиях диазотирования образуется примесь оксима **5**. С увеличением концентрации минеральной кислоты и уменьшением температуры увеличиваются выходы солей **1** [34]. В определённых условиях можно провести *C*-нитрозирование пиразолов **3**, не затрагивая аминогруппы [35–38].

В настоящее время стандартный метод получения солей пиразол-3(5)-дiazония – диазотирование соответствующих аминопиразолов – используется как основной. Трёхкратный избыток концентрированной минеральной кислоты (HCl, H₃PO₄, H₂SO₄, HBF₄ и т. д.) и проведение реакции в водных или спиртовых растворах уменьшает возможность протекания побочных процессов.



R, R¹ = H, Alk, Ar, Het и т. д.; X = Cl, Br, NO₃, H₂PO₄, HSO₄, ClO₄, BF₄

Альтернативным методом получения солей пиразол-3-diazония является одноэлектронное окисление и последующие диазотирование с ароматизацией 3-амино-1-арил- Δ^2 -пиразолина **6**. Катион-радикал **7** не способен к димеризации из-за блокирования *para*-положения в бензольном цикле и настолько стабилен, что обладает временем жизни в несколько недель. При внесении нитрита натрия в раствор аминопиразолина **6** в соляной кислоте сначала появляется красная окраска ион-радикала, затем происходит диазотирование и дегидрирование с превращением в хлорид пиразолдiazония **8** [39].

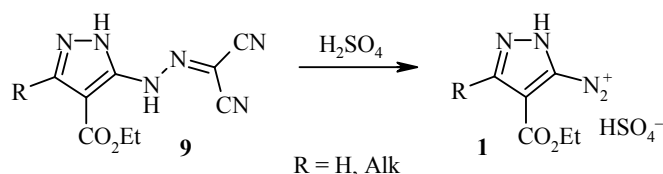


Аналогичный метод был применён для синтеза солей diazonия **1** (R = R¹ = H), в котором протекали последовательно нитрозирование по эндоциклическому атому азота, одноэлектронное окисление, диазотирование, денитрозирование и ароматизация [40].

Интересным является тот факт, что более ранние работы вообще отвергают образование солей diazonия при взаимодействии частично гидрированных аминопиразолов с азотистой кислотой [41].

Описаны и запатентованы [22, 42, 43] способы получения солей пиразол-дiazония по методу Кнёвенагеля (*изо*-амил- или этилнитрит, концентрированная минеральная кислота, органический растворитель), который позволяет выделить в чистом виде твёрдые соли **1**. Diazотирование 5-аминопиразолов проведено также в безводной среде с помощью нитрозилхлорида или алкилнитритов в хлороформе [44].

Нетривиальный способ получения гидросульфатов diaзония **1** основан на действии концентрированной H_2SO_4 на пиразолилгидразон **9** [45].



Следует отметить, что в гетероциклическом ряду в результате реакции diaзотирования обычно получают соответствующие соли diaзония и лишь в особых случаях, например в ряду пиразолов, могут быть выделены diaзосоединения **2**. Последние обычно получают путём добавления основания (Na_2CO_3 , $AcONa$, $NaOH$, Et_3N) к свежеполученному раствору соли diaзония для связывания кислоты [1, 2, 20, 22, 46–48].



Зачастую не рассматривается, в какой из форм – diaзосоединения или соли diaзония – соединение вступает в реакцию, наблюдаются ли прототропные равновесия между формами и как влияют на эти равновесия растворители. Так, при растворении солей diaзония в хлороформе происходит их депротонирование с образованием 3-diaзопиразолов **2** [22].

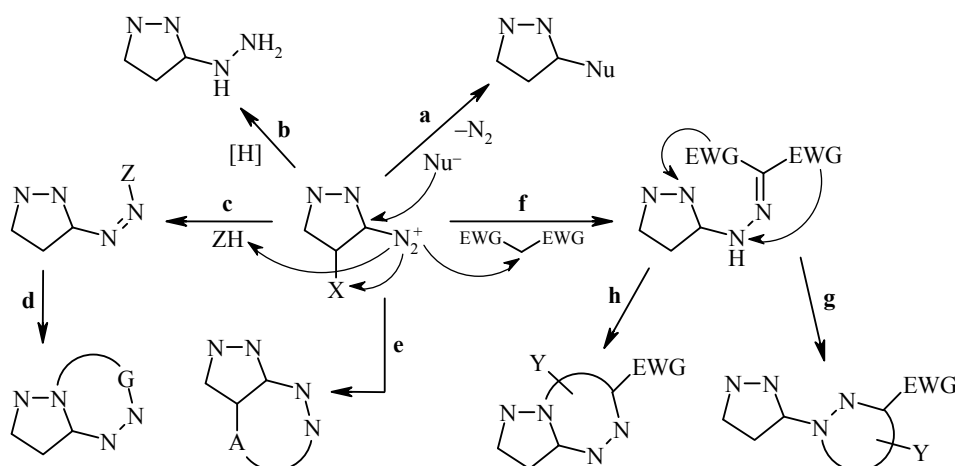
Пиразол-3(5)-diaзониевые соли в силу их лабильности и взрывоопасности в твёрдом состоянии [24, 38] не выделяют в свободном виде, а в дальнейших превращениях используют их растворы при температурах от 0 до 10 °C.

Реакционная способность солей пиразол-3(5)-diaзония сопоставима с таковой для хлорида фенил-*ди*азония, тогда как 3-diaзопиразолы во многом напоминают по свойствам алифатические diaзосоединения [22, 23, 46, 47]. Частота валентных колебаний группы N_2^+ в соединениях **1** по значению близка к таковой в ароматических солях diaзония [23]. Однако 3(5)-diaзопроизводные пиразола проявляют заметно большую устойчивость по сравнению с их карбоциклическими аналогами, что позволяет при необходимости их выделять [1, 3, 22, 24, 38].

Особый интерес, проявляемый к солям пиразол-3(5)-diaзония, обусловлен рядом причин. Во-первых, эти соединения термически и химически более устойчивы, чем их ароматические и многие гетероциклические аналоги. Триазол-*ди*азониевые соли, например, с лёгкостью отщепляют молекулу азота, в связи с чем их получают только в виде нитратов [48]. По той же причине оба ряда аминоимидазолов diaзотируют в концентрированных серной или борфтористоводородной кислотах [49, 50]. Тетразол-*ди*азониевые соли ещё менее стабильны [3]. Во-вторых, доступность исходных аминов,

простые условия их диазотирования, высокая реакционная способность солей пиразол-3(5)-дiazония и наличие в них активного нуклеофильного центра (эндоциклический атом азота пиразола) в *орто*-положении к diaзониевой группе делает указанные объекты весьма перспективными строительными блоками в гетероциклическом синтезе.

Для α -пиразолдiazониевых солей изучено большинство реакций, свойственных солям аренадiazония. Общая концепция реакционной способности и типы превращений обсуждаемых объектов с определённой долей формализма изображены ниже.



В соответствии с приведённой схемой для солей пиразол-3(5)-дiazония можно выделить несколько групп реакций:

- нуклеофильное замещение группы N_2^+ ($Nu = Hal, N_3, NO_2, OH$ и т. д.) (a);
- восстановление diaзониевой группы (b);
- азосочетание с ароматическими и гетероциклическими соединениями, а также первичными и вторичными аминами с образованием азосоединений и триазенов ($Z = Ar, Het, NR_2$) (c). Продукты таких реакций в некоторых случаях внутримолекулярно циклизуются (d);
- внутримолекулярное азосочетание, протекающее при наличии в *орто*-положении к diaзогруппе активных к электрофильной атаке заместителей X (NH_2, NH, Ar , кратные углерод–углеродные связи и т. д.) и приводящее к пиразолоазинам (e);
- взаимодействие с метиленактивными соединениями, содержащими электроноакцепторные группы (EWG) с образованием пиразолилгидразонов (f), а также гетероциклизация последних с образованием линейно связанных (g) и конденсированных систем (h) с фрагментом пиразола.

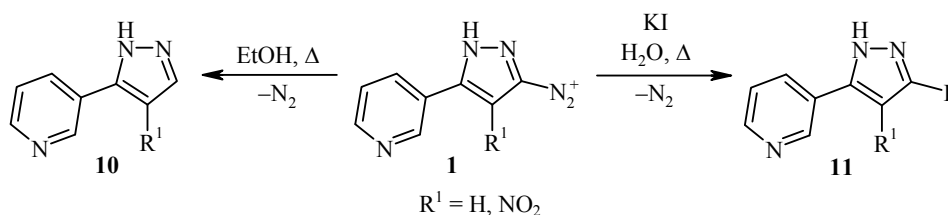
2. РЕАКЦИИ СОЛЕЙ ПИРАЗОЛ-3(5)-ДИАЗОНИЯ, НЕ ПРИВОДЯЩИЕ К ОБРАЗОВАНИЮ НОВОГО ЦИКЛА

2.1. Реакции дediaзотирования (замещения diaзогруппы)

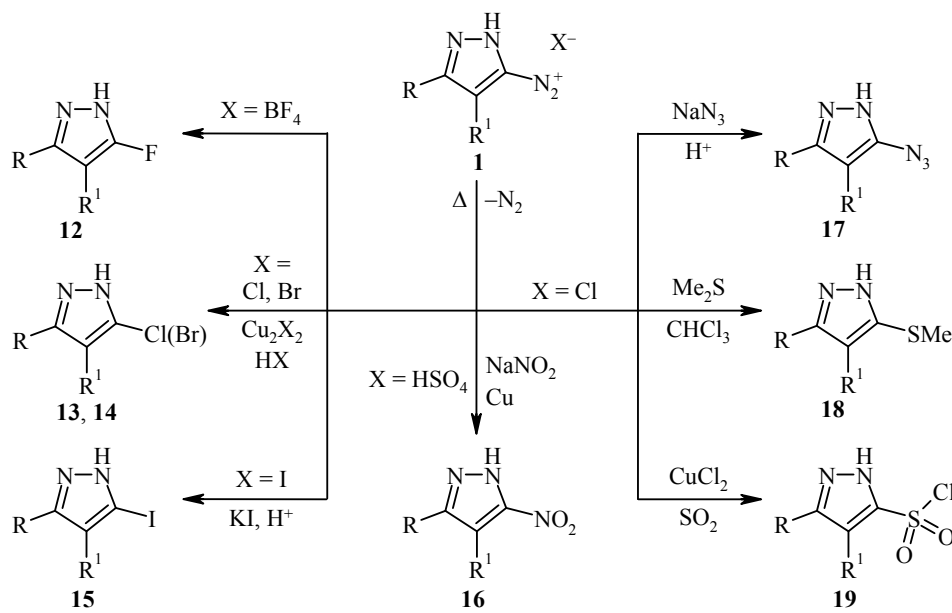
Нуклеофильное замещение diaзогруппы представляет одно из самых важных синтетических направлений химии diaзосоединений. Этот тип превращений называется дediaзотированием и позволяет получать разно-

образные функциональные производные (галогениды, цианиды, роданиды, гидроксиды, тиолы, нитриты, азиды и др.).

Реакции замещения диазониевой группы в ряду пиразола в настоящее время хорошо изучены. Первые попытки их проведения были предприняты Мором в 1914 г. [38, с. 509]. Лунд [24, 51] впервые осуществил синтез пиразола **10** и 3-иодпиразола **11** путём дезаминирования и замещения диазогруппы на иод. Взаимодействие соли диазония **1** ($R = 3\text{-Py}$, $R^1 = \text{H}, \text{NO}_2$) с раствором аммиака приводит к образованию исходного аминопиразола и выделению азота [52].



В ходе реакции Зандмейера и Бальца–Шимана из соединений **1** был получен ряд функциональных 3(5)-производных пиразола: фториды **12** [53–55], хлориды **13** и бромиды **14** [44, 52, 53, 56–61], иодиды **15** [22, 44, 51, 52], нитропиразолы **16** [56, 62–64], азиды **17** [57, 61, 64–66], алкилмеркаптаны **18** [44], сульфонилхлориды **19** [67–69].



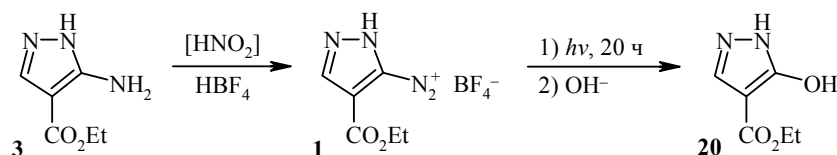
Вопрос, по какому механизму протекают подобные реакции, остаётся дискуссионным, так как имеются экспериментальные данные, свидетельствующие как в пользу ионного, так и в пользу радикального механизма. Для нормального хода процесса и высоких выходов продуктов необходимо наличие в кольце электроноакцепторных заместителей, которые повышают устойчивость диазосоединений в водных растворах. Однако в некоторых случаях картина осложняется наличием заместителей у атома азота пиразольного цикла. Так, в ходе диазотирования 5-амино-1,3-диметил-4-нитропиразола

в соляной кислоте происходит быстрое замещение диазогруппы на хлор, в бромистоводородной кислоте получается 5-бром-1,3-диметил-4-нитропиразол [60]. В аналогичных условиях изомерный 3-амино-1,5-диметил-4-нитропиразол диазотируется гладко. Наличие двух электроноакцепторных заместителей (NO₂) в ядре пиразола, снижающих основность аминогруппы, не оказывает влияния на процесс диазотирования и последующего нуклеофильного замещения группы N₂⁺ [61].

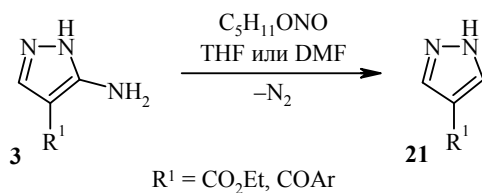
Реакция Бальца–Шимана может протекать как при термоллизе сухих тетрафторборатов **1**, так и фотохимическим облучением их растворов [54, 55].

Попытки превратить 5-амино-3-метил-4-нитропиразол в цианид при диазотировании и последующей обработке трицианокупратом калия приводят к образованию галогенопроизводного [52]. Нитрилы пиразольного ряда методом дediaзотирования до сих пор не получены.

Данных о синтезах 3(5)-гидроксипиразолов из соответствующих солей диазония практически нет, возможно, по причине высокой стабильности соединений **1** в растворах. Вместе с тем аминопроизводные других азолов могут гидроксидезаминироваться [3, с. 142]. Подщелачивание солей пиразол-3(5)-диазония, как было указано выше, приводит к биполярным 3-диазопиразолам. Известно, что гидроксидезаминирование α-аминопиразола **3** можно провести в условиях фотохимического облучения [70].

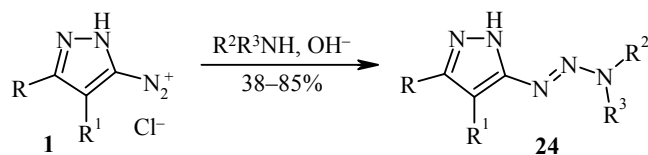


Отдельного упоминания заслуживают реакции солей α-пиразолдиазония, протекающие при восстановлении диазогруппы с замещением её на водород. В качестве восстановителей применяют низшие спирты [51, 64], фосфорноватистую кислоту [56, 58], диоксид серы в присутствии катализатора (CuCl₂) в четырёххлористом углероде [71]. В последнем случае продукты дезаминирования образуются с низкими выходами (3–20%) наряду с мажорными хлорпроизводными **13**. Непосредственным действием алкилнитрита в ТГФ [44, 72] или ДМФА [73] на исходные амины, содержащие электроноакцепторные группы в положении 4, можно провести однореакторный синтез пиразолов **21**.



Считается, что эти процессы могут протекать либо с промежуточным образованием пиразолил-катиона, либо с участием свободных радикалов, как и в случае арендиазониевых солей [74].

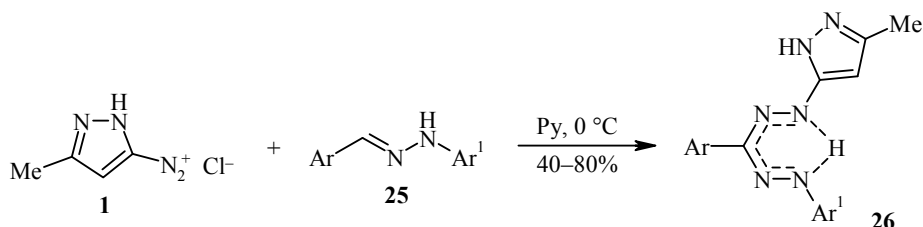
Небольшой обзор литературы, вышедшей до 1991 г., по реакциям дediaзотирования, в том числе в ряду пиразолов, дан в одном из томов издания "Houben-Weyl. Methoden der organischen Chemie" [75, с. 643].



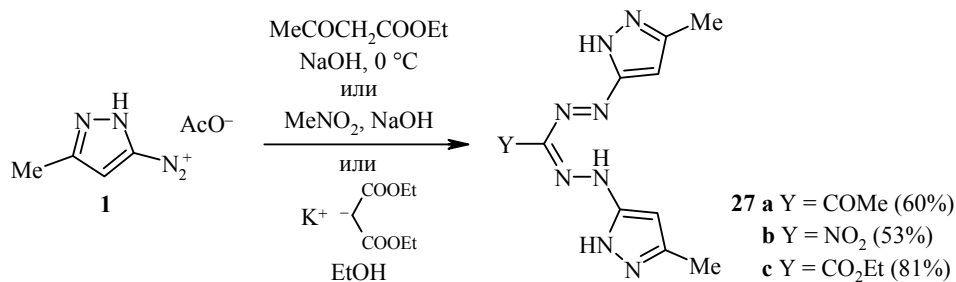
R = H, Me, SMe; R¹ = H, CO₂Et, CONH₂, CN; R² = H, Me, Et, Pr, *n*-Bu, (CH₂)₂OH, (CH₂)₂Cl, (CH₂)₂F;
R³ = Me, Et, Pr, Ph, (CH₂)₂Cl, (CH₂)₂F, Het; R²+R³ = (CH₂)₄

Описан синтез триазенов ряда пиразола из аминокислот (глицина, пролина) [85] и из (гетеро)ароматических аминов (4-хлоранилина, α-аминопиразолов, 4-аминоантипирина) [82, 86]. Запатентовано получение пиразолилтриазенов на основе амидинов [87].

Формазаны (азогидразоны), содержащие пиразольный цикл, практически не изучены. При азосочетании соли диазония **1** с различными гидразонами альдегидов **25** получен большой ряд 1(5)-пиразолил-3,5(1,3)-диарилформазанов **26** с выходами 40–80% [88].



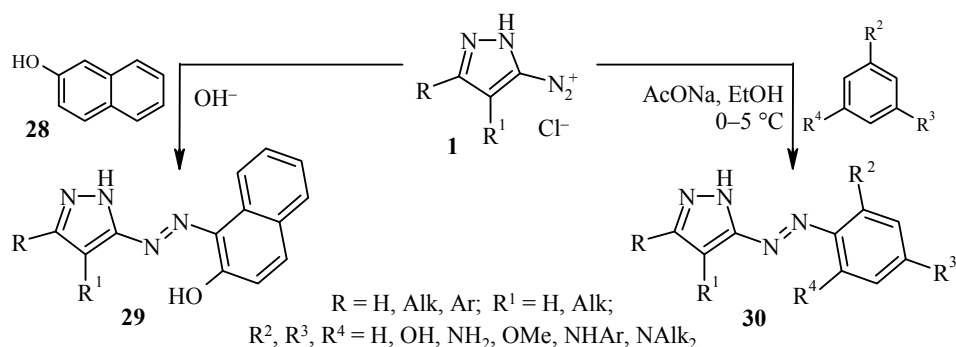
Другие методы синтеза пиразолилформазанов **27a,b** с функциональной группой в положении 3 на основе соответствующих солей диазония апробированы российскими авторами [89]. В качестве СН-активных компонентов в бисазосочетании используются ацетоуксусный эфир и нитрометан. Отмечается случай выделения формазана **27c** (Y = CO₂Et) с выходом 81% с применением калиевой соли малонового эфира [90].



Одно из наиболее важных превращений, характеризующих химические свойства пиразол-3(5)-дiazониевых солей, является C-азосочетание с ароматическими и гетероциклическими азокомпонентами. Эта реакция протекает как электрофильное замещение в ароматическом ряду и имеет те же особенности, что и азосочетание аренидiazониевых солей с фенолами и анилинами.

В рамках изучения свойств солей **1** Мор [37, 38] и Мейер [32], используя в качестве азокомпонента β-нафтол (**28**), впервые получили окрашенные пиразолилазосоединения **29**

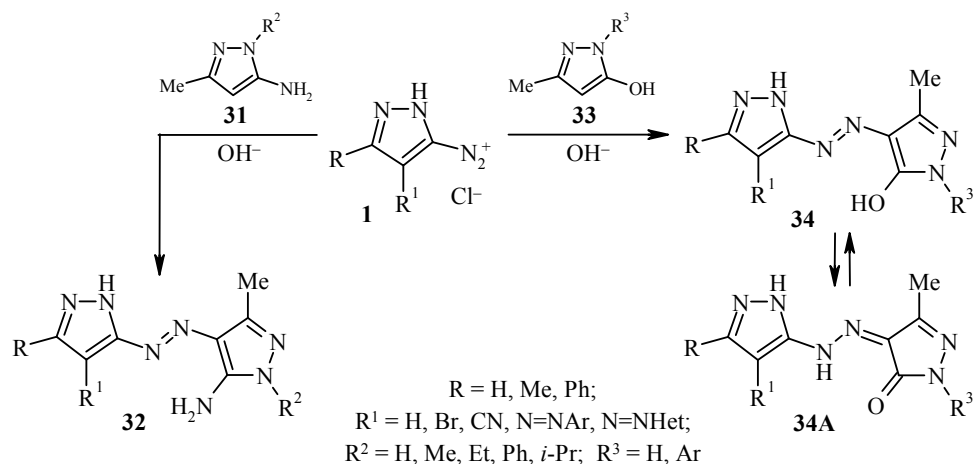
Впоследствии α- и β-нафтолы довольно часто применялись для иллюстрации реакций азосочетания солей диазония **1** (R = H, Alk, SAlk, Ar; R¹ = H, Alk, NO₂, CO₂Et, CONH₂, CN; X = Cl, HSO₄) [22, 39, 40, 41, 53, 64, 91–93].



Описаны и запатентованы синтезы пиразолилазосоединений на основе других ароматических соединений: полигидрокси-, полиметокси-, карбоэтокси-, ариламино-, сульфо- и иных производных нафталина [53, 93–95], фенолов, крезолов и анизолов [23, 53, 75, 96], анилинов и *N,N*-диалкиланилинов [23, 39, 40, 51, 53, 94, 97, 98] (соединения **30**). Примечательной особенностью этих реакций является возможность дальнейшей внутримолекулярной циклоконденсации продуктов (при наличии нуклеофуга в *орто*-положении к азогруппе у фрагмента азокомпонента) с образованием аннелированных полициклических структур. Ориентация при азосочетании пиразол-3(5)-дiazониевых солей с ароматическими соединениями осуществляется согласно общим принципам и обстоятельно изучена в работе Реймлингера [53].

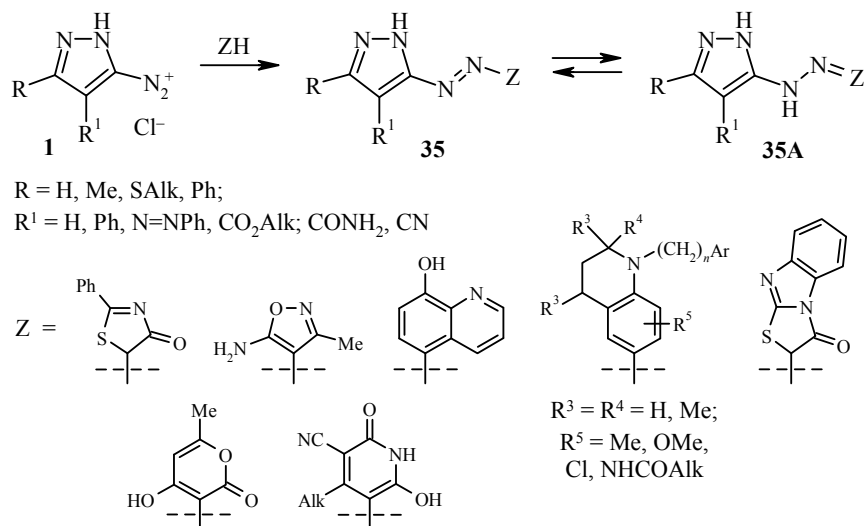
1-(5-Пиразолилазо)-2-нафтол (ПИРАН-2) и 1-(4-карбокис-5-пиразолил-азо)-2-нафтол (КПИРАН-2) применяются в неорганическом анализе для количественного фотометрического определения *d*-металлов. Другие пиразолилазосоединения с ароматическими/гетероциклическими фрагментами зарекомендовали себя в качестве красителей как для синтетических, так и для природных тканей и покрытий. Установлено, что эти вещества проявляют высокую фунгицидную активность и светопрочность.

Сведения о взаимодействии солей диазония **1** с гетероциклическими азокомпонентами (производными пиразола, изоксазола, тиазола, пиридина, хинолина и др.) носят отрывочный характер. Изучено взаимодействие соли **1** с 5-аминопиразолами **31** [91, 93, 94], приводящее к образованию азопроизводных **32**. Аналогично протекает реакция с 5-пиразолонами **33** [31; 53; 75 с. 598; 91; 96; 99; 100–103], продукты которой могут существовать в двух таутомерных формах: азоформе (структура **34**) и гидразонной (структура **34A**).



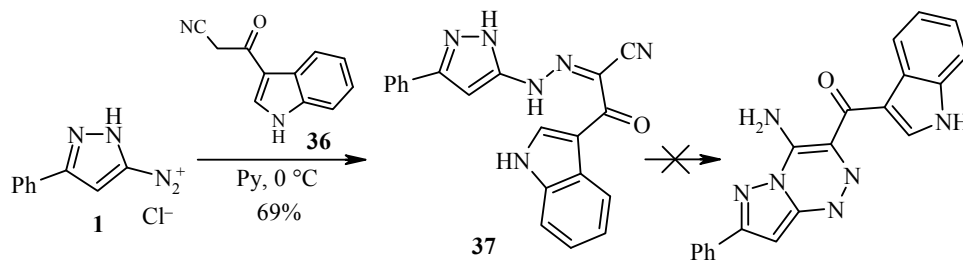
Синтез азосоединений **34** проводят в спирте, ацетоне, диоксане или пиридине, поддерживая слабощелочную среду. Иногда азосочетание с аминопиразолами осуществляют в уксуснокислых растворах [104].

Тиазол-4-он и 5-аминоизоксазол, в структурах которых имеются активные к электрофильной атаке положения, успешно используются как азокомпоненты в реакциях с солями пиразол-3(5)-диазония [105, 106]. Найлены примеры азосочетания солей диазония **1** с 4-алкил-6-гидрокси-3-цианопиридин-2-оном [102, 103, 107], 8-гидроксихинолином [92], 1,2,3,4-тетрагидрохинолинами [43, 94, 97], 4-гидрокси-2-пироном [102], [1,3]тиазоло-[3,2-*a*]бензимидазол-3-оном [108].



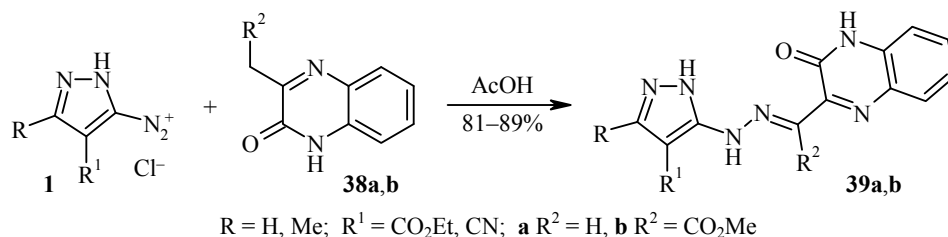
В некоторых случаях отмечается наличие азо-гидразонного равновесия $\text{35} \rightleftharpoons \text{35A}$. В работах [102, 103] приведены ИК и УФ спектры некоторых из продуктов в кислых и основных растворителях. Об успешной внутримолекулярной гетероциклизации пиразолилазосоединений **34** и **35** не сообщается.

Вовлечение в реакцию с солями **1** гетероилацетонитрила **36** позволяет получить гидразон **37**, гетероциклизация которого при нагревании в пиридине затруднительна [109].



Метильная группа в производном хиноксалина **38a** проявляет высокую кислотность, благодаря чему сочетается с солями пиразол-3(5)-диазония. Аналогичный результат достигается с использованием метиленметоксикарбонильного производного **38b** [110].

Следует отметить, что реакции солей пиразол-3(5)-диазония, которые не приводят к образованию нового цикла, чрезвычайно полезны в синтетическом плане. Мягкие условия этих превращений и высокая активность субстратов

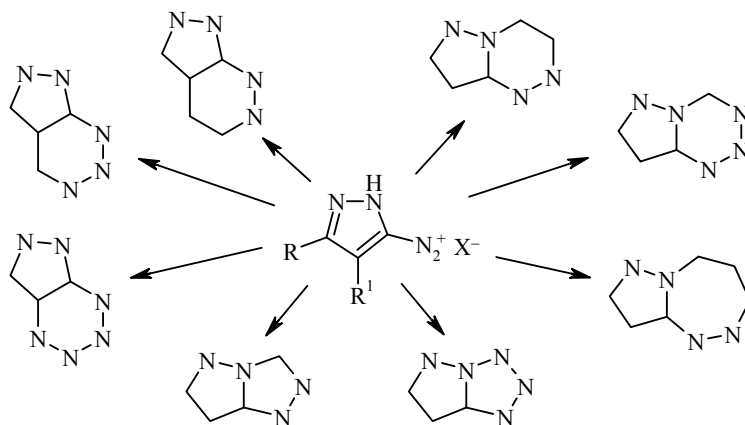


позволяют синтезировать значительное число разнообразных линейно связанных производных пиразола. Азиды, сульфонилхлориды, гидразоны, формазаны, гидразины и триазены этого ряда зарекомендовали себя как биологически активные соединения, красители, комплексообразователи, полупродукты в органическом синтезе. Интерес к обсуждаемым реакциям в настоящее время не пропадает.

3. РЕАКЦИИ ГЕТЕРОЦИКЛИЗАЦИИ С УЧАСТИЕМ ПИРАЗОЛ-ДИАЗОНИЕВЫХ СОЛЕЙ И ПОЛУПРОДУКТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Реакции солей пиразолдiazония, в которых происходит замыкание нового цикла, наиболее полно изучены и описаны в литературе. Внутримолекулярная гетероциклизация может проходить по двум основным направлениям: при атаке диазониевой группы по соседнему нуклеофильному фрагменту и при замыкании продуктов азосочетания (гидразонов, азосоединений, триазенов и др.) по эндоциклическому атому азота пиразола или атому азота гидразонного фрагмента. Во всех этих превращениях образуются конденсированные или линейно связанные полигетероциклы.

Примеры пиразолоаннелированных бициклических систем (приведены только каркасы молекул), полученных на основе солей пиразол-3(5)-дiazония и их полупродуктов, представлены на схеме ниже.

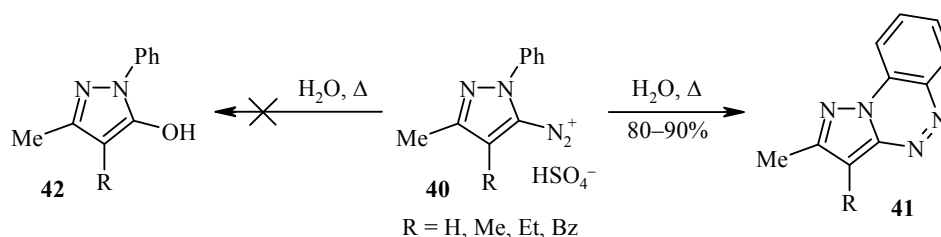


3.1. Внутримолекулярное азосочетание

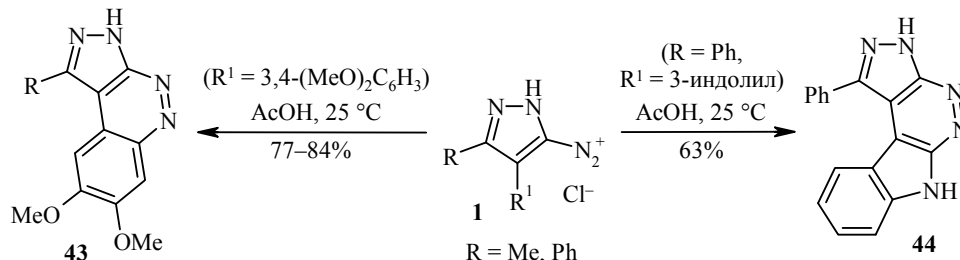
Известно, что соли арендiazония, содержащие в *орто*-положении к diaзо-группе активный к электрофильной атаке заместитель (NH₂, NH, OH, SH, Alk, Ag, кратные связи C–C и т. п.), малоустойчивы и самопроизвольно вступают в

реакцию внутримолекулярной циклизации с образованием соответствующих гетероциклов [10, с. 1068; 33, с. 241; 39, с. 131; 111]. Это касается и некоторых пиразол-3(5)-дiazониевых солей, в результате внутримолекулярного азосочетания которых получают пиразоло[3,4-*c*]пиридазины, пиразоло[3,4-*d*]-[1,2,3]триазины, пиразоло[3,4-*e*][1,2,3,4]тетразины и другие полициклические системы.

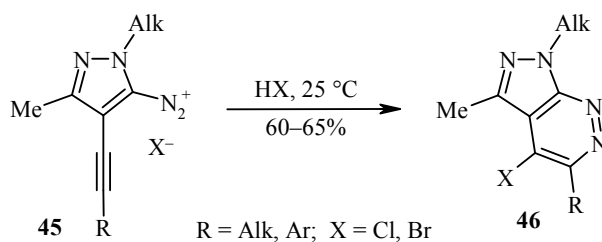
Первый пример такого рода реакций был описан Мором [38]. Так, попытки заместить diaзониевую группу в соединении **40** на гидроксильную приводят к производным пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]бензотриазина **41**, а не пиразолон **42**. Аналогичные результаты достигнуты и для других пиразол-5-diazониевых солей при термической циклизации [112] или при обработке раствором AcONa [113].

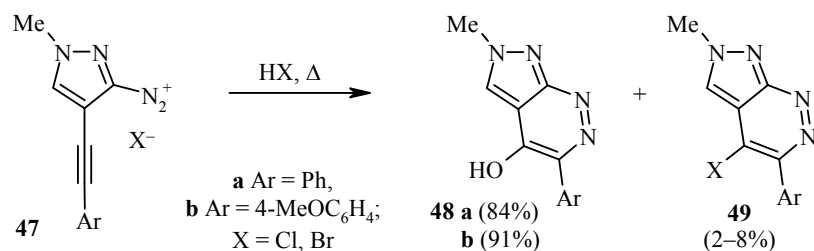


Отмечаются случаи внутримолекулярного азосочетания соединений **1**, содержащих 3,4-диметоксифенильный и индолильный заместители в положении 4 пиразольного цикла [114]. Эти примеры можно рассматривать как оригинальные способы синтеза производных пиразоло[3,4-*c*]циннолина **43** и пиразоло[3',4':5,6]пиридазино[3,4-*b*]индола **44** в рамках так называемой методологии click chemistry ([115] и цитируемая там литература, [116]).

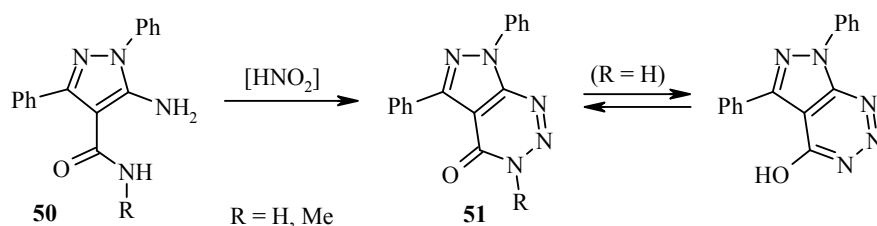


Классическая реакция Рихтера [111, с. 357] для синтеза циннолинов успешно осуществлена в ряду ацетиленовых производных солей *N*-алкилпиразолдiazония [117, 118]. Соединения **45** подвергаются циклоконденсации с образованием галогензамещённых пиразоло[3,4-*c*]пиридазинов **46**; при нагревании галогенидов 4-(арилэтинил)пиразол-3-diazония **47** происходит образование преимущественно 6-гидрокси-2*H*-пиразоло[3,4-*c*]пиридазинов **48a,b** и минорных галогенсодержащих аналогов **49**.

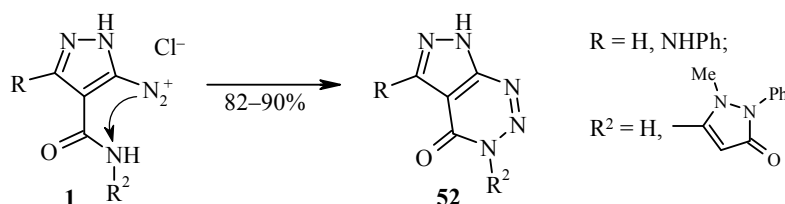




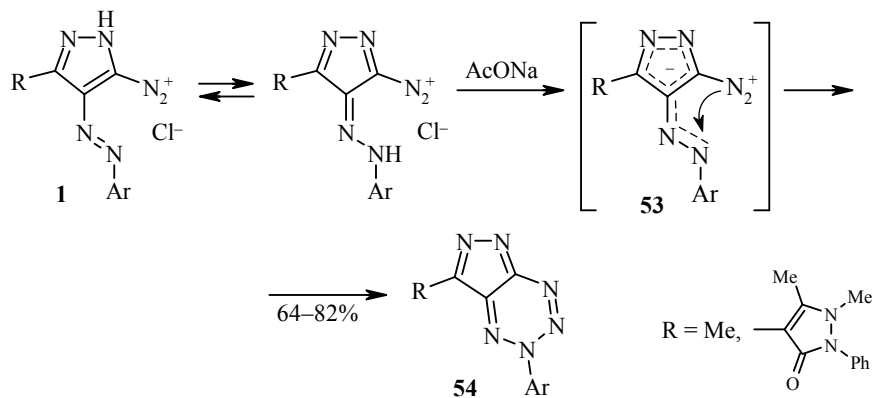
Один из методов получения пиразоло[3,4-*d*]-*v*-триазинов основан на внутримолекулярном азосочетании солей α -пиразолдиазония с карбоксамидной группой в положении 4. Этот эффективный подход, очевидно, впервые применил Джустони на примере 1,3-дифенилпиразол-5-диазониевых солей, которые на стадии образования из соответствующих аминов **50** переходят в пиразоло[3,4-*d*][1,2,3]триазины **51** [119].



Сообщается об аналогичных реакциях солей диазония **1** (R = H, NHPH; R¹ = CONH₂, CONHNH₂), которые циклизуются либо при добавлении кислоты или щёлочи, либо самопроизвольно в течение 2 ч [120, 121].



В ряде публикаций последних десятилетий имеется немало примеров формирования 1,2,3-триазинового цикла в реакциях с 1,4-замещёнными солями пиразол-3(5)-диазония. В арсенале заместителей при атоме N-1 задействованы фрагменты гетероциклов, β -D-рибофуранозы, 2-дезоксид- β -D-рибофуранозы, их производных; при атоме C-4 – фрагменты амида, нитрила, гидразида, гетероциклов и др. [122–124].



Производные другого представителя бициклических азотсодержащих систем с 10 π -электронами – 2*H*-пиразоло[3,4-*e*][1,2,3,4]тетразина **54** – образуются с хорошими выходами (64–82%) из 4-арилазопиразол-3(5)-дiazониевых солей при обработке раствором AcONa [125]. Предполагается [126], что эта реакция протекает через промежуточное образование делокализованного цвиттер-иона **53**.

Таким образом, реакции внутримолекулярного азосочетания солей пиразол-3(5)-дiazония с успехом используются в синтезе азолоаннелированных азинов. Стойкий интерес к этим превращениям обусловлен их соответствием основным принципам click chemistry, а также проявлением продуктами (структурно подобными индолам и природным пуриновым основаниям) различных видов биологической активности.

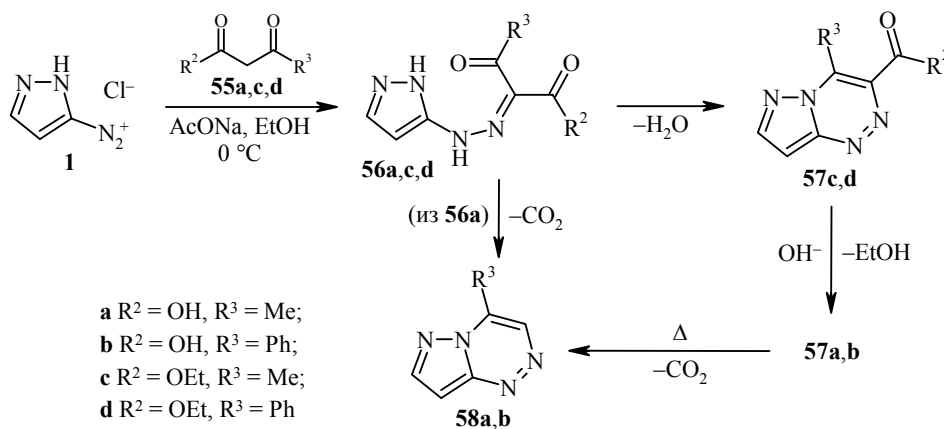
3.2. Межмолекулярное азосочетание

Реакции солей **1** с различными СН- и NH-кислотами открывают широчайшие возможности для гетероциклического синтеза. Это обусловлено, во-первых, большим разнообразием компонентов, которые могут быть введены в реакции (алифатические, алициклические, ароматические, гетероциклические), во-вторых, возможностью циклоконденсации полученных нециклических продуктов либо за счёт эндоциклического *N*-атома пиразола, либо других заместителей. Спектр получаемых таким образом соединений чрезвычайно велик и не ограничивается числом, природой и типом связывания циклов в молекуле [11; 78, с. 628, 656].

Наиболее важные продукты, образующиеся в ходе межмолекулярного азосочетания солей пиразол-3(5)-дiazония, – пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазины или их аннелированные производные [11, 16].

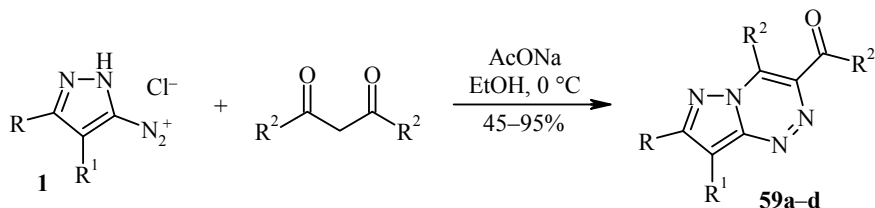
Реакции с использованием нециклических СН-/NH-активных соединений. Ряд соединений, которые используются в качестве алифатического СН-активного компонента в реакциях азосочетания с солями **1**, представлен различными классами, среди которых следует отметить β -кетокислоты, β -дикетоны, нитрилы и енаминоны. В ходе этих реакций образуются пиразол-3(5)-илгидразоны или соответствующие азосоединения, которые циклизуются либо в условиях реакции азосочетания, либо после дополнительной обработки.

Впервые направленную циклизацию с участием эндоциклического атома азота пиразола осуществил Патридж [1, 127] при введении в реакцию с солью пиразол-3(5)-дiazония **1** ацетоуксусной кислоты и её эфира, а также бензоилуксусного эфира в спиртовом растворе ацетата натрия.



Нециклические продукты **56c,d** самопроизвольно конденсируются в пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазины **57c,d**, которые в дальнейшем подвергаются щелочному гидролизу с образованием карбоновых кислот **57a,b** и затем декарбоксилированию. В то же время эфиры малоновой кислоты с трудом вступают в реакцию азосочетания с хлоридами пиразолдiazония **1** [128, 129].

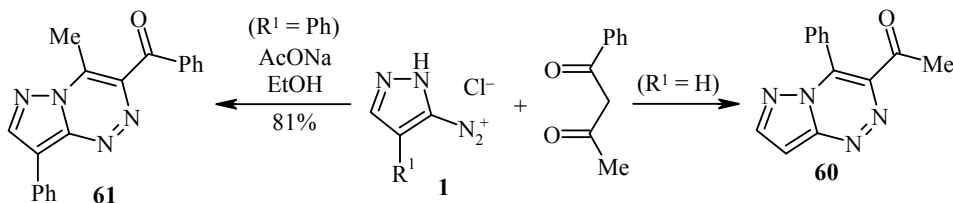
Библиотека пиразоло[5,1-с]-*as*-триазинов получена при использовании в реакциях с солями **1** в качестве метиленактивных компонентов 1,3-дикетон, α -гетарилкетон и других аналогичных блок-синтонов. Описывается [127, 49, 130–132] получение производных **59a–d** на основе ацетилацетона, гептан-3,5-диона, нонан-4,6-диона и дибензоилметана в условиях реакции азосочетания.



R = H, Me, Ar, NHPh; R¹ = H, Br, CO₂Et, Ar, Het; **a** R² = Me, **b** R² = Et, **c** R² = *n*-Pr, **d** R² = Ph

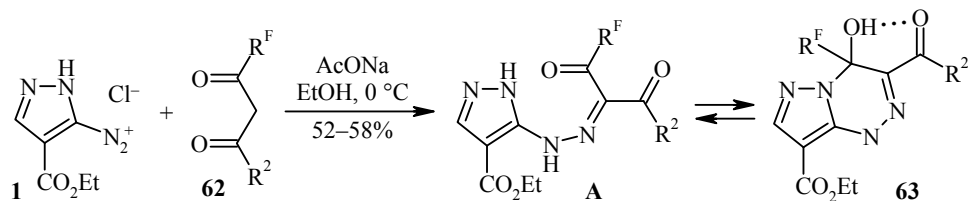
Имеется достаточно сведений, касающихся строения, получения и свойств 2-пиразолилгидразоно-1,3-дикарбонильных соединений (см. обзорную работу [133]), поэтому образование гидразонов как интермедиатов в указанных выше реакциях не вызывает сомнений.

Вопрос региоселективности процесса возникает при взаимодействии солей пиразол-3(5)-дiazония с несимметричными β -дикетонами. Сообщается [134] о получении 3-ацетил-4-фенилпиразоло[5,1-с]-*as*-триазина **60** реакцией соли пиразолдiazония **1** с бензоилацетоном.



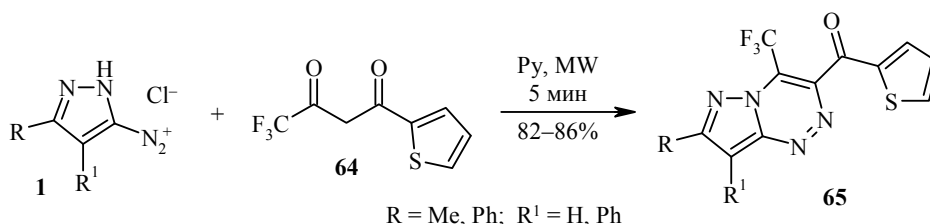
Опровержение такой интерпретации результатов даётся в работе [135], авторы которой встречным синтезом однозначно доказали образование 3-бензоил-4-метилпиразоло[5,1-с][1,2,4]триазина **61** в подобной реакции.

При взаимодействии перфторалкилсодержащих 1,3-дикетон **62** с солями пиразол-3(5)-дiazония **1** в стандартных условиях азосочетания происходит образование 4-гидрокси-4-фторалкил-1,4-дигидропиразоло[5,1-с]-*as*-триазинов **63**. Последние образуются из интермедиатов **A** в результате атаки эндоциклического атома азота пиразола на карбонильную группу при фторированном заместителе [136].

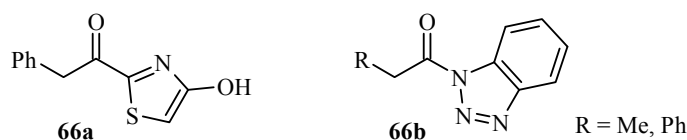


R² = Me, *n*-Bu, *t*-Bu, Ph; R^F = HCF₂, CF₃, H(CF₂)₂, C₃F₇, H(CF₂)₄, C₄F₉, C₆F₅

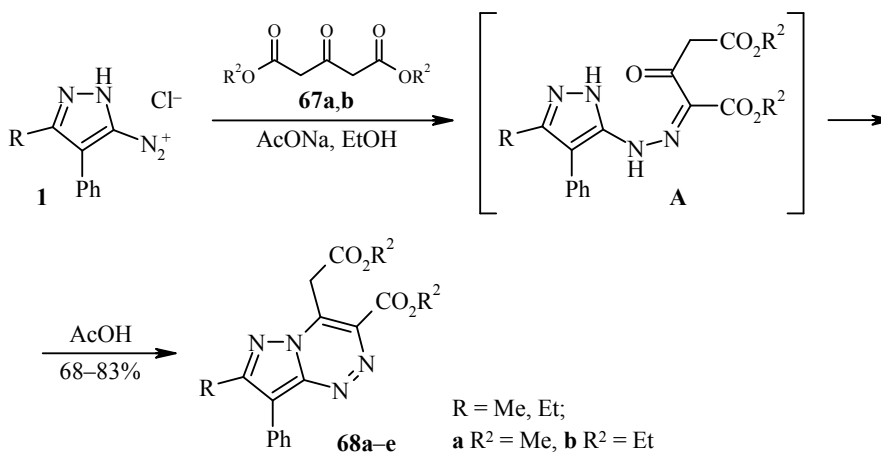
Взаимодействие соли пиразол-3(5)-дiazония **1** с 4,4,4-трифтор-1-(тиофен-2-ил)бутан-1,3-дионом (**64**) протекает в пиридине при микроволновой активации и приводит к получению пиразолотриазинов **65** [137].



Гетарилкетоны **66a,b** также гладко сочетаются с солями пиразолдiazония **1**. Данные реакции позволяют вводить в боковую цепь 1,2,4-триазина разнообразные гетероциклические фрагменты [138, 139].

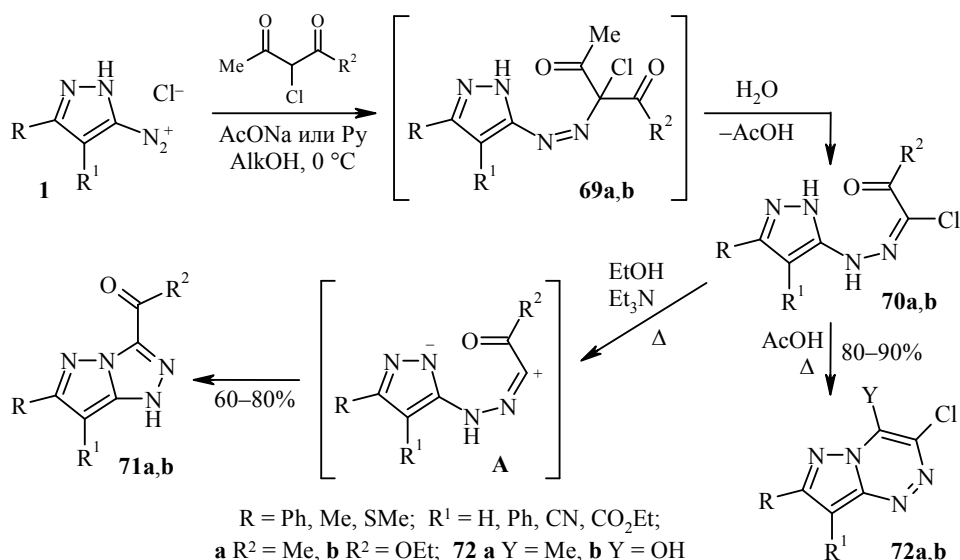


Описаны реакции солей пиразолдiazония **1** с метиловым и этиловым эфирами ацетондикарбоновой кислоты **67a,b** [140]. Нагревание нециклических полупродуктов азосочетания в AcOH приводит к производным пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазинов **68a-e**.

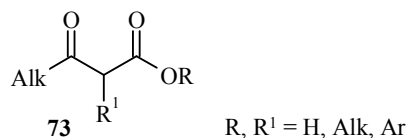


При конденсации 2-хлор-1,3-дикарбонильных соединений с солями diaзония **1** [127, 131, 141–143] образуются промежуточные азосоединения **69a,b**, которые элиминируют ацетильный фрагмент с получением устойчивых гидразонилхлоридов **70a,b** (по типу реакции Яппа–Клингемана).

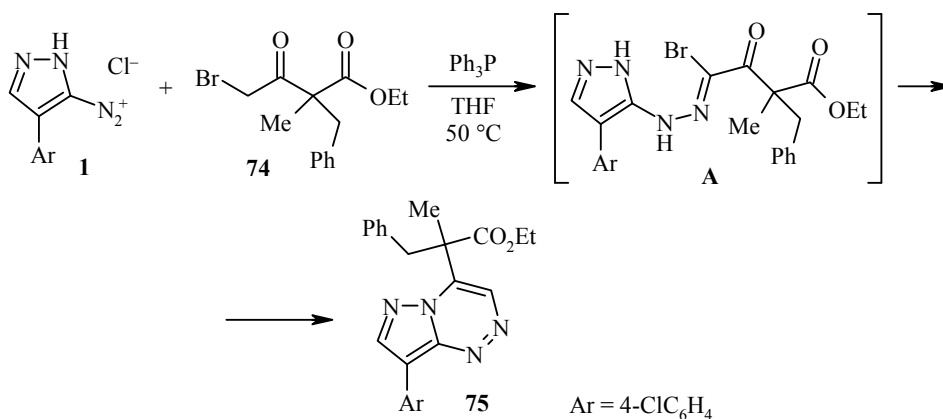
В зависимости от условий проведения дальнейшей реакции, последние переходят либо в пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазолы **71a,b** (кипячение в 2-аминопиридине или спирте в присутствии триэтиламина, обработка алкоголятом натрия), либо в пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазины **72a,b** (кипячение в уксусной кислоте или этаноле). Реакция Виттига с участием гидrazонов **70a,b** является оригинальным методом построения производных пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазепина [144].



В работах [49, 130–132, 145–147] и патенте [148] показаны примеры синтеза пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов из солей **1** ($R = \text{H, Me, NHPh, SMe, Ar, Het}; R^1 = \text{H, Ar, Het, CN}; X = \text{Cl}$) и различных производных β -кетокислот **73** в аналогичных условиях.

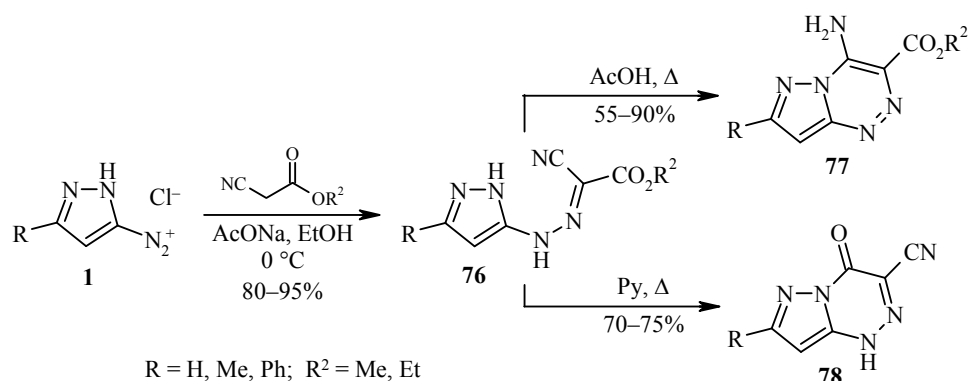


Интересен метод получения 3-незамещённых пиразоло[5,1-*c*]-*as*-триазинов по реакции солей **1** с γ -бромзамещённым β -кетогэфиром **74** [149]. Взаимодействие осуществляется за счёт группы CH_2 , активированной с одной стороны бромом, а с другой – кетогруппой.



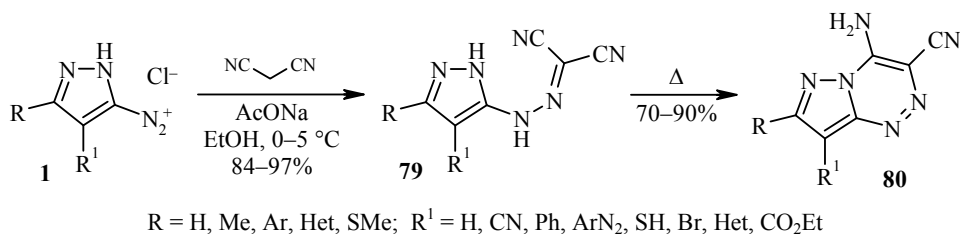
Нитрильные соединения, содержащие в составе CN -активную группу, являются лидерами в ряду синтонов для получения производных пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов в реакциях с солями диазония [127, 128, 150]. Так, при взаимодействии солей пиразол-3(5)-диазония **1** с циануксусными эфирами выделены и охарактеризованы гидразоны **76**. В зависимости от природы

растворителя, они могут циклизоваться либо по типу *экзо-диг*-процесса с образованием 4-аминопиразолотриазинов **77**, либо переходить в 4-оксо-1,4-дигидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазины **78** в результате внутримолекулярной гетероциклизации [150].

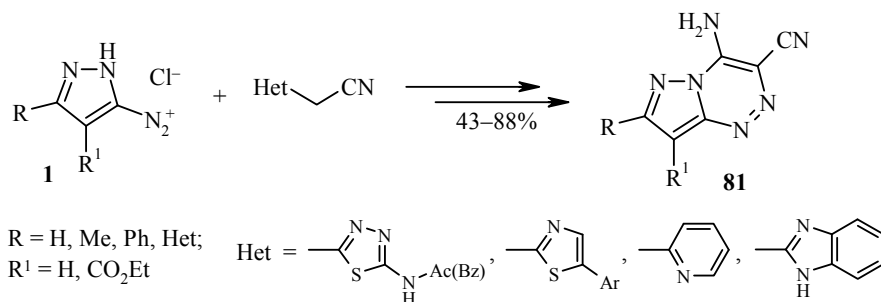


Присоединение группы CN к эндоциклическому атому азота в условиях кислотного катализа может протекать также при спекании или кипячении в этаноле, тетралине, разбавленных минеральных кислотах. В ряде случаев образуется примесь альтернативного продукта **78**, который становится мажорным при использовании пиридина в качестве растворителя [150]. Противоречивые сведения по этому поводу содержатся в работах [101, 141, 151, 152]: в идентичных условиях наблюдается образование либо производных **77**, либо **78**.

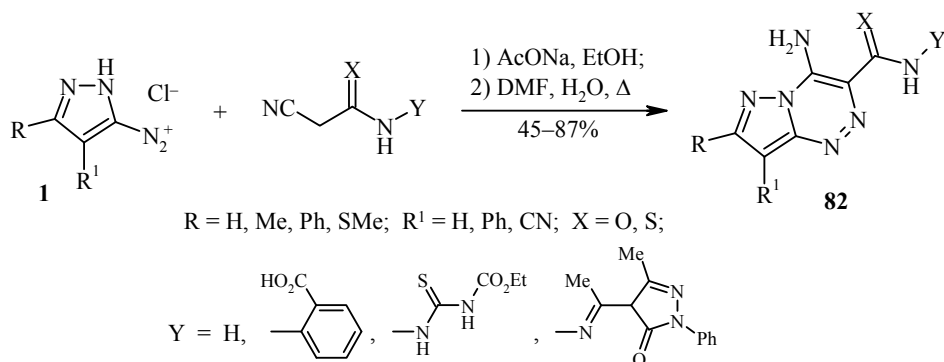
В ряде источников упоминается об использовании малондинитрила в качестве азокомпонента в реакциях с солями пиразол-3(5)-дiazония **1** [92, 101, 128, 129, 131–133, 141–142, 145–147, 151–155]. Данные превращения также протекают через стадию образования гидразонов **79**, которые после специальной обработки (в ряде случаев – самопроизвольно) переходят в 4-аминопроизводные пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов **80**.



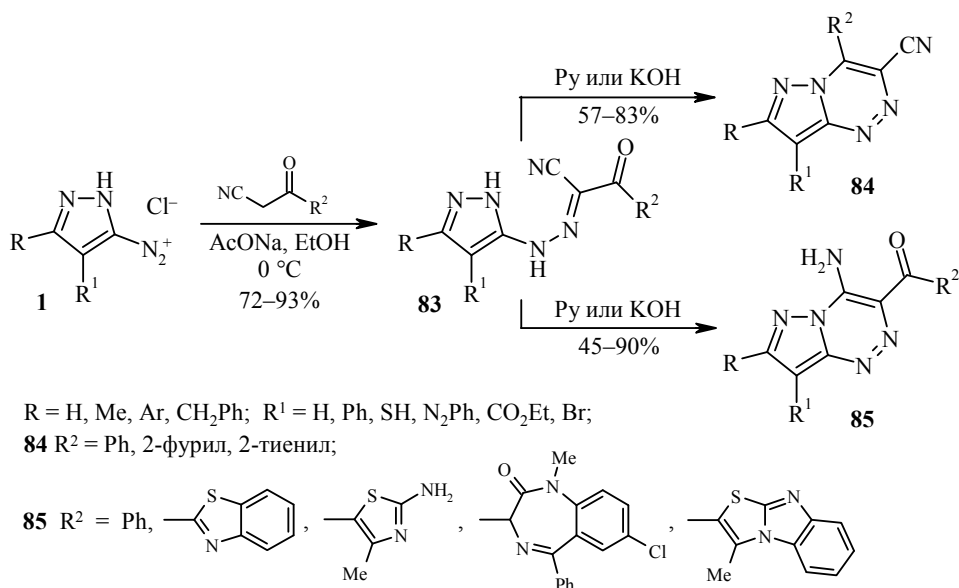
Для построения 3-азолил- и 3-азинилпроизводных пиразолотриазинов **81** на основе солей пиразолдiazония используются гетарилацетонитрилы [156–162].



Обнаруживаются примеры реакций солей пиразолдiazония **1** с амидами и гидразидами цианкусусной кислоты [92, 128, 163–165], а также её тиаомидом [166]. Как и в предыдущих случаях, закрытие *as*-триазинового цикла протекает за счёт нитрильной группы.

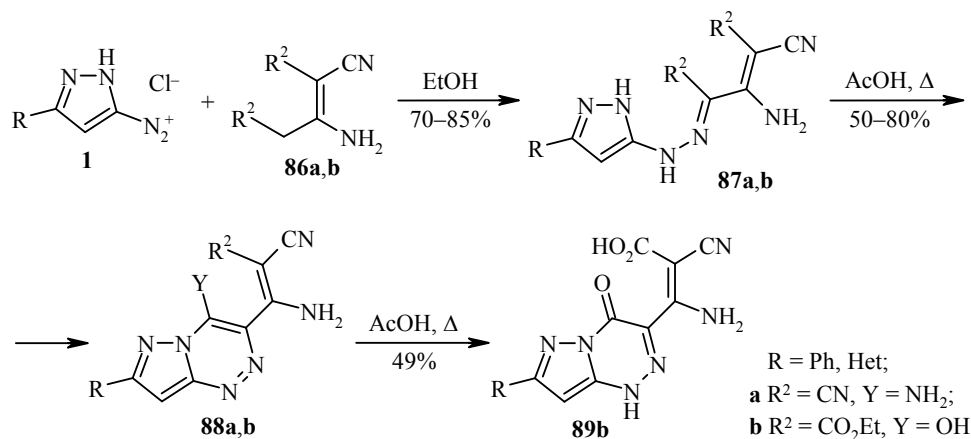


Значительным синтетическим потенциалом в реакциях с солями **1** также обладают β-кетонитрилы, содержащие ароматические и гетероциклические фрагменты. Одновременное присутствие двух высокореакционноспособных электрофильных групп – кетонной и нитрильной – ставит вопрос о селективности процесса. В связи с этим гетероциклизация интермедиатов **83** может осуществляться либо как *экзо-диг*-процесс (с образованием 3-циано-производных **84**), либо как внутримолекулярная конденсация (продукты – 3-кетопроизводные **85**).

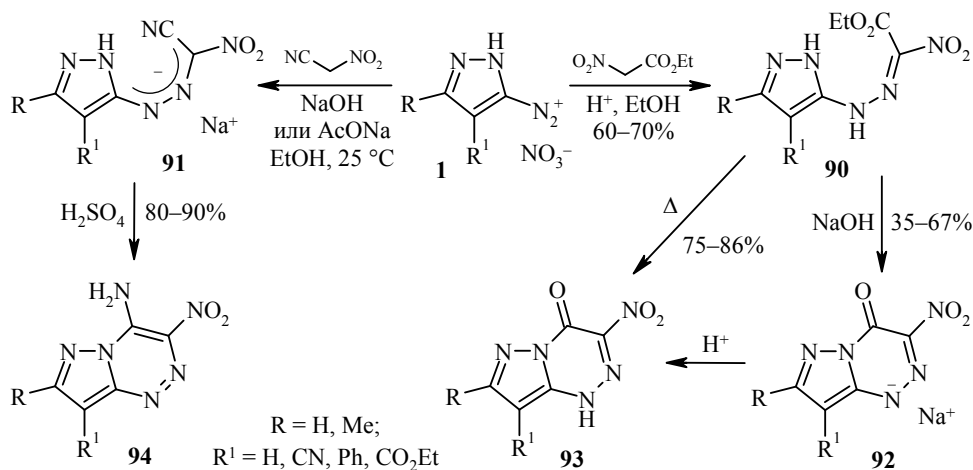


В литературе наблюдаются разночтения в интерпретации данных по этому типу реакций: в ряде случаев сообщается о выделении соединений **84** [49, 100, 131, 145, 154, 167], в других – соединений **85** [92, 108, 168–171], несмотря на идентичность исходных соединений и условий проведения реакций.

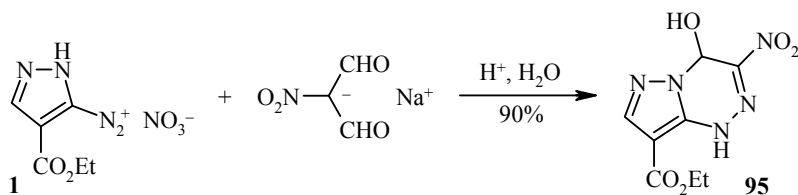
Непредельные нитрильные производные **86a,b** также используются в реакциях с солями пиразол-3(5)-дiazония **1** с получением пиразоло[5,1-*c*]-[1,2,4]триазинов **88a,b** и **89b** [129, 172].



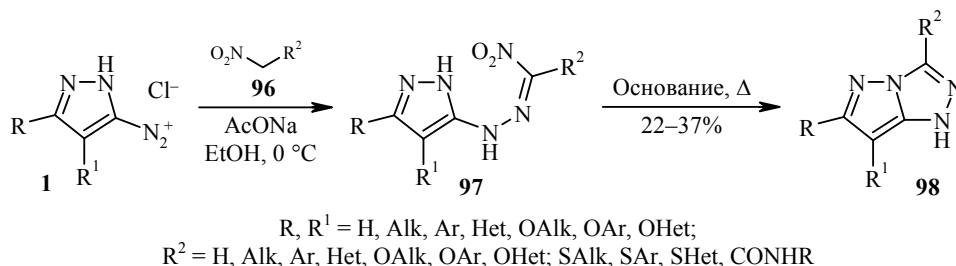
Установлено, что нитрогруппа повышает подвижность находящихся рядом протонов СН, облегчая как азосочетание, так и дальнейшую циклизацию. Чупахиным и сотрудниками разработан метод синтеза нитроазоло-[1,2,4]триазинов, ключевой стадией которого является взаимодействие гетероциклических диазосолей с нитрокарбонильными соединениями, такими как нитроацетонитрил и эфир нитроуксусной кислоты [173, 174]. Реакция осуществляется в водном или водно-спиртовом растворе щёлочи при пониженной или комнатной температуре через стадию образования пиразолилгидразонов **90** или их натриевых солей **91**. Обработка первых раствором щёлочи даёт соответствующие соли азиния **92**, которые после нейтрализации переходят в нитрозамещённые дигидропиразоло[5,1-с]-[1,2,4]триазины **93**. Нитропроизводные **94** получают напрямую при взаимодействии солей **1** с нитроацетонитрилом.



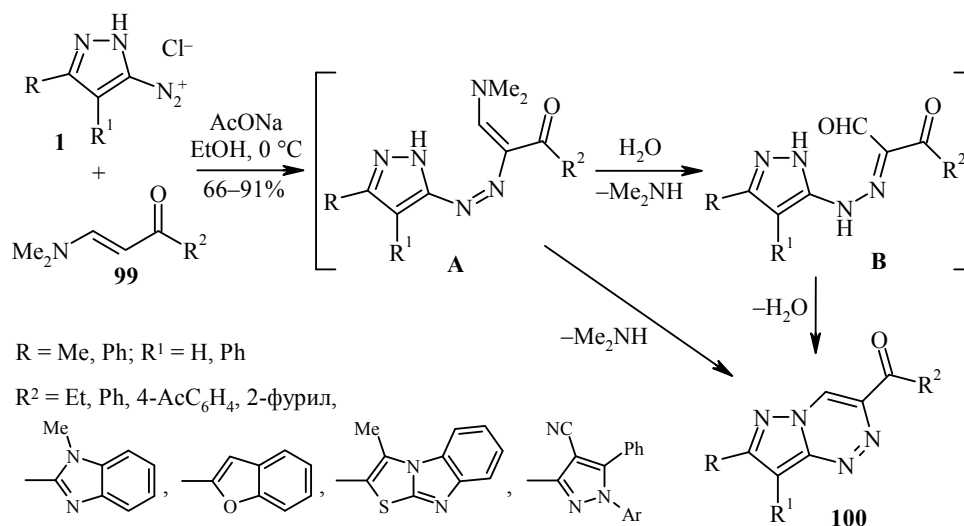
Нитропиразоло[5,1-с]-*as*-триазины **95** образуются по реакции Яппа-Клингемана из нитромаленового альдегида [173, 175].



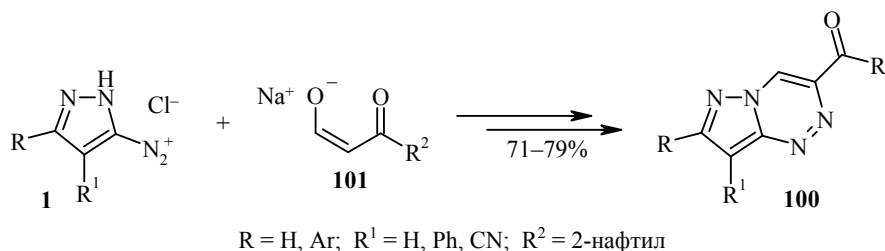
Метиленактивные нитросоединения общей формулы **96**, не содержащие групп, способных участвовать во внутримолекулярной циклизации, применяются в синтезе производных другого представителя азолаannelированных бигетероциклов – пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазола **98** [81].



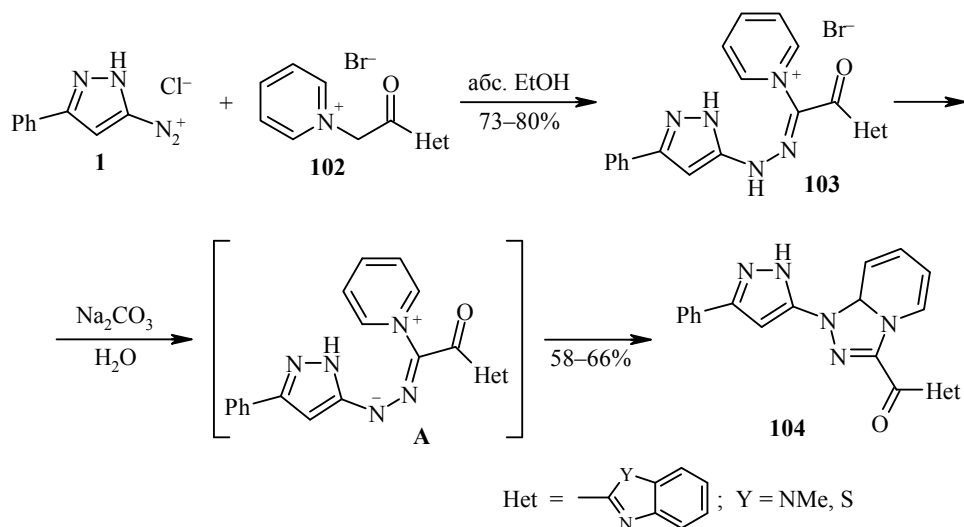
Метод синтеза *4H*-пиразоло[5,1-*c*][1,2,4]триазинов **100**, в котором в качестве СН-активных компонентов в реакциях с солями пиразол-3(5)-диазония используются енамины **99**, разработан коллективом египетских учёных [176–180]. Предполагается первоначальное образование азосоединений **A**, которые в условиях реакции конденсируются в пиразолотриазины **100** либо напрямую за счёт отщепления молекулы диметиламина, либо через стадии гидролиза и дегидратации. Однако ни один из указанных интермедиатов реакции не был выделен.



Использование енолята **101** также позволяет получить *4H*-пиразоло[5,1-*c*]-[1,2,4]триазины **100** [181].

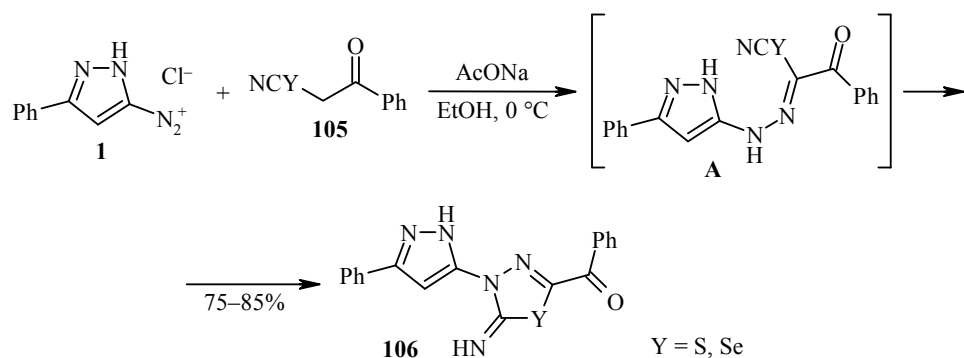


Обнаружена необычная циклизация с участием соединения **1** и пиридиниевых солей **102** [182].



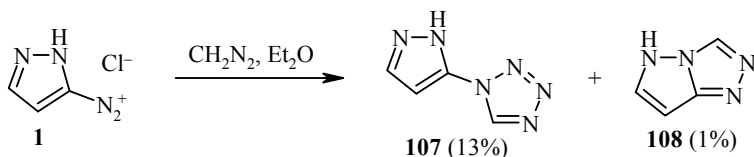
Устойчивые гидразонилпиридиниевые соли **103** при обработке раствором соды превращаются в производные **104**, вероятно, через илidy **A**.

В реакциях солей пиразол-3(5)-дiazония **1** с фенацилхалкогеноцианатами **105** удаётся синтезировать замещённые тиadiaзолы и селенадиазолы **106** [183]. Взаимодействие сопровождается спонтанной гетероциклизацией гидразонов **A** по фрагментам *экзо*-NH и YCN.



Аналогичные продукты получены при конденсации пиразол-3(5)-diazониевых солей с бромидом фенацилдиметилсульфония с последующей обработкой гидразонилбромидов тио(селено)цианатом калия [182, 183].

Следует отметить работу немецких учёных [184] по изучению взаимодействия неводного раствора соли diaзония **1** ($R = R^1 = \text{H}$, $X = \text{Cl}$) с diaзометаном. Реакция приводит к получению двух продуктов: 3(5)-(1-тетразолил)пиразола **107** (строение установлено с помощью РСА) и пиразоло-[5,1-*c*]триазола **108**.

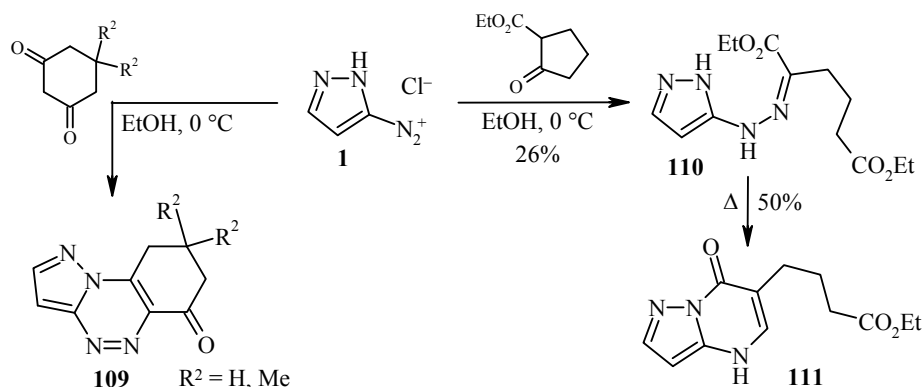


Трёхкратный избыток diaзометана приводит к смеси изомерных продуктов *N*-метилирования соединения **107**.

Примеры синтезов аннелированных пиразолов на основе внутри-молекулярной циклизации продуктов азосочетания пиразолдiazониевых солей с NH-кислотами единичны. Так, пиразолилтриазены **24** (см. п. 2.2) могут подвергаться дегидрированию с образованием производных 3*H*-пиразоло[1,5-*d*]тетразола [83]. Данный метод используется, например, для введения в нуклеозиды гетероциклических систем.

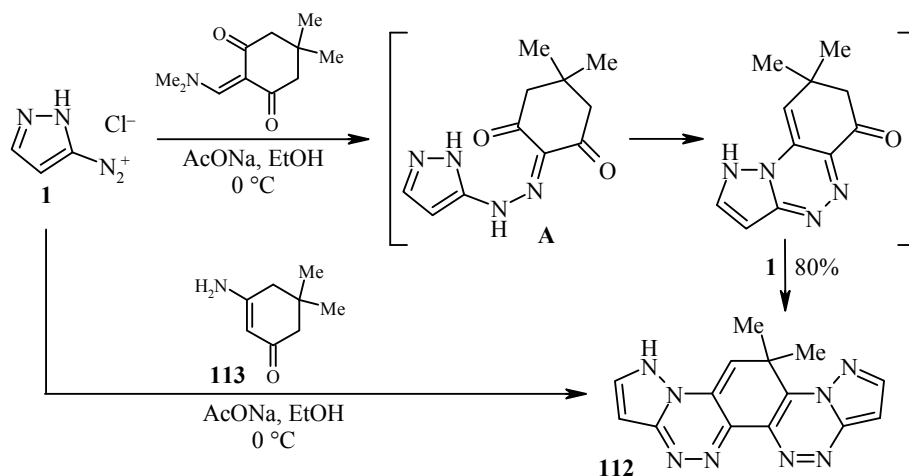
Взаимодействие с циклическими компонентами. Реакциям азосочетания солей пиразол-3(5)-дiazония с циклическими азокомпонентами, результатом которых является образование нового цикла, в литературе уделено гораздо меньше внимания. Этим методом можно получить пиразолоазины, содержащие в молекуле три, четыре и более цикла.

Первый пример применения алициклических компонентов в реакции (циклогексан-1,3-дион, димедон, 2-этоксикарбонилциклопентанон) освещён в работе югославских ученых [134]. Так, взаимодействие соли **1** с циклогександионами приводит к 6,7,8,9-тетрагидропиразоло[5,1-*c*][1,2,4]бензотриазинам **109** (выходы 69 и 72%).

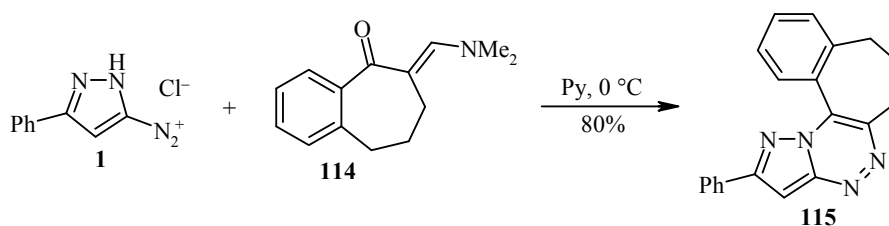


Иначе проходит азосочетание с замещённым циклопентанонем: оказалось возможным выделить гидразон **110** в результате раскрытия цикла и подвергнуть его термической циклизации в пиразолотриазин **111**.

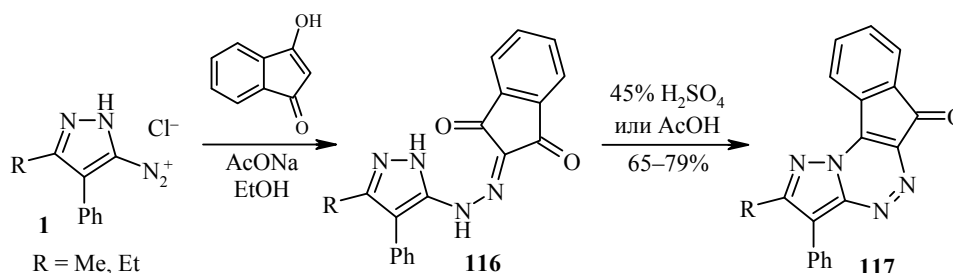
В результате взаимодействия соли **1** с диметиламинометиленовым производным димедона возможно выделение только продукта бисазосочетания **112** (выход 80%). Пентациклическая система **112** образуется также при азосочетании соединения **1** ($R = R^1 = H$) с енамином **113** в стандартных условиях [185].



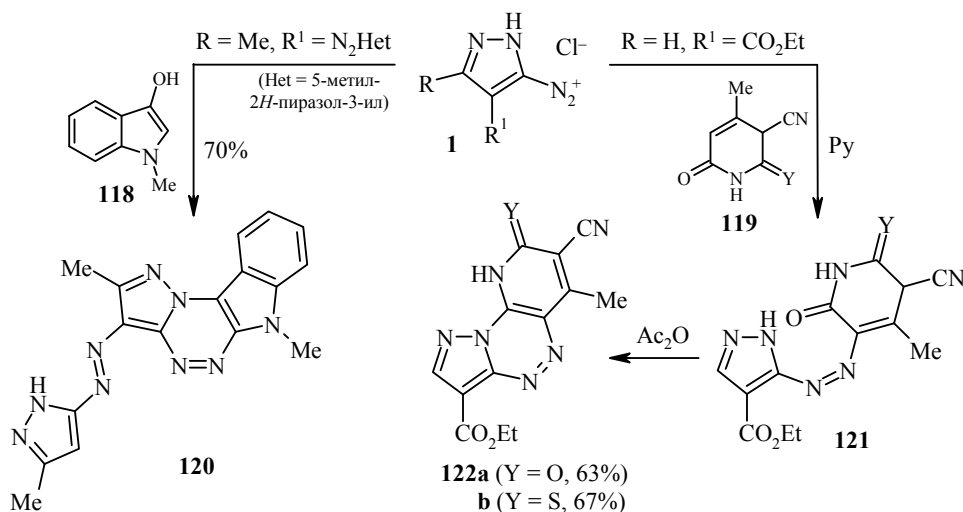
Аналогичная реакция Яппа–Клингемана была возможна с участием производного бензосуберона **114** [186].



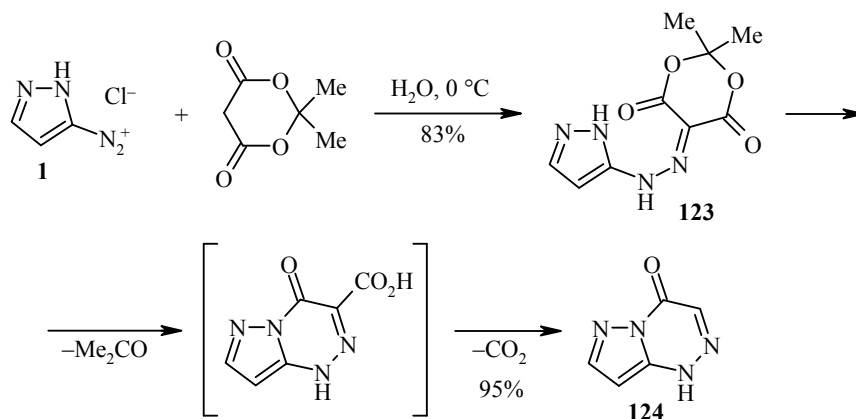
Описано взаимодействие солей пиразол-3(5)-дiazония **1** с 1,3-индандионом, протекающее с образованием тетрациклической системы – индено[1,2-*e*]пиразоло[5,1-*c*]-1,2,4-триазин-6-она **117** [129, 187, 188].



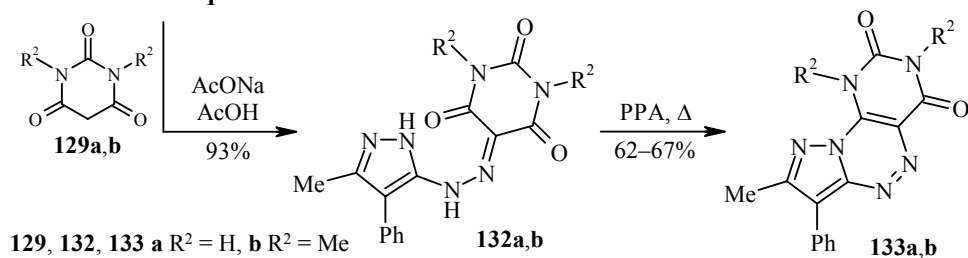
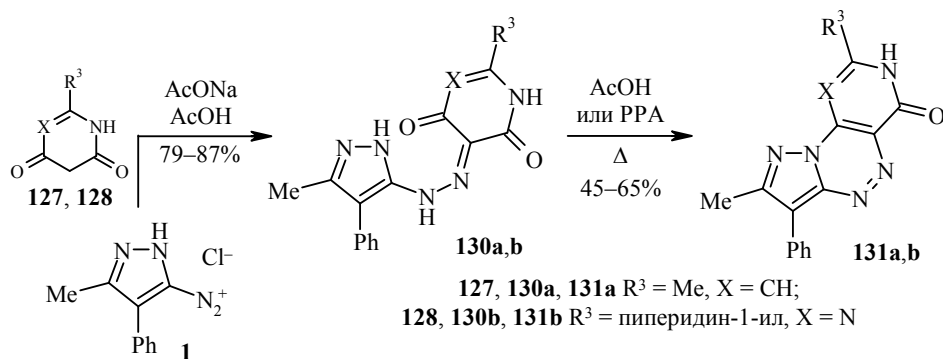
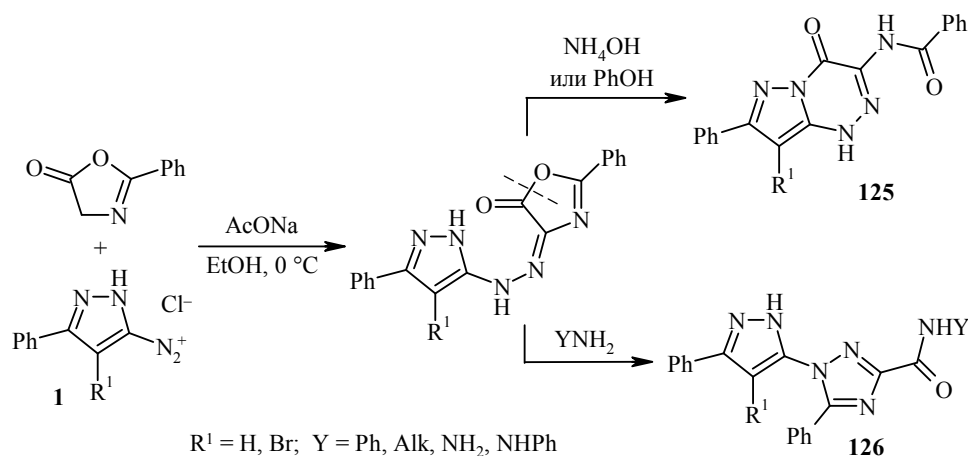
Из гетероциклических агентов, используемых в реакциях азосочетания с солями diazonия **1** с образованием конденсированных пиразолов, необходимо отметить 3-гидрокси-1-метилиндол **118** и α -пиридоны **119** [93, 189]. В первом случае полицикл **120** формируется в стандартных условиях без выделения интермедиата, во втором – азосоединения **121** дополнительно обрабатываются уксусным ангидридом с получением пиразоло[5,1-*c*]пиридо[2,3-*e*]-*as*-триазинов **122**.



Достаточно высокую СН-кислотность в подобных реакциях проявляет кислота Мельдрума. При взаимодействии последней с солью diazonия **1** (R = R¹ = H; X = HSO₄) получен гидразон **123**, кипячение которого в AcOH в течение 1 сут сопровождается рециклизацией и приводит к пиразоло[5,1-*c*]-[1,2,4]триазин-4(1*H*)-ону (**124**) [190].



Следует отметить методы построения пиразоло[5,1-*c*]-*as*-триазинов **125** и 1-(1*H*-пиразол-5-ил)-1*H*-1,2,4-триазолов **126** с использованием солей **1** и 2-фенилоксазол-5(4*H*)-она [159]. Синтезы основаны на внутримолекулярной рециклизации оксазольного ядра с участием *экзо*- и *эндо*-групп NH.



В недавних работах [191, 192] сообщается об успешном построении трициклических систем с фрагментом пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазины на основе реакций солей пиразол-3(5)-диазония **1** ($R = \text{Me}$, $R^1 = \text{Ph}$) с производными пиридин-2,4-диона **127**, пиримидин-4,6-диона **128**, барбитуровой и *N,N*-диметилбарбитуровой кислотами **129a,b**. Во всех случаях в качестве промежуточных продуктов были выделены гетероциклические гидразоны **130a,b** и **132a,b**. Дальнейшая циклоконденсация осуществлялась либо при нагревании в полифосфорной кислоте (в случае пиримидиновых производных), либо при кипячении в уксусной кислоте (в случае производного пиридина). Выбор жёстких условий циклоконденсации гидразонов **132a,b** объясняется затруднённой нуклеофильной атакой эндоциклического атома азота пиразола на лактамную группу смежного гетероциклического фрагмента.

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что пиразол-3(5)-диазониевые соли являются удобными блок-синтонами для получения различных линейно связанных и поликонденсированных азот-, кислород- и серосодержащих гетероциклических систем. Среди последних особое место занимают гетарилазосоединения и пиразоло[5,1-с][1,2,4]триазины, обладающие рядом практически полезных свойств.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор № 02.G25.31.0007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L. C. Behr, R. Fusco, C. H. Jarboe, in *The Chemistry of Heterocyclic Compounds*, R. H. Wiley (Ed.), Wiley, New York, 1967, vol. 22, p. 888.
2. R. N. Butler, *Chem. Rev.*, **75**, 241 (1975).
3. *Heteroaromatic Nitrogen Compounds. The Azoles*, K. Schofield, M. R. Grimmett, B. R. T. Keene (Eds.), Cambridge University Press, 1976, p. 437.
4. Stevens M. F. G., in *Progress in Medicinal Chemistry*, G. P. Ellis, G. B. West (Eds.), North-Holland Publishing Company, Toronto, 1976, vol. 13, p. 205.
5. M. Tišler, B. Stanovnik, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **16**, 443 (1980). [*Химия гетероцикл. соединений*, 579 (1980).]
6. H. Dorn, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **17**, 1 (1981). [*Химия гетероцикл. соединений*, 3 (1981)].
7. M. H. Elnagdi, E. M. Zayed, S. Abdou, *Heterocycles*, **19**, 559 (1982).
8. M. H. Elnagdi, F. M. Abdel-Galil, B. Y. Riad, G. E. H. Elgemeie, *Heterocycles*, **20**, 2437 (1983).
9. E. A. A. Hafez, N. M. Abed, M. R. H. Elmoghayer, A. G. A El-Agamey, *Heterocycles*, **22**, 1821 (1984).
10. A. Engel, in *Houben-Weyl. Methoden der Organischen Chemie*, D. Klamann (Ed.), Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1990, 4th ed., Bd. E-16a, Teil 2, S. 1052.
11. M. H. Elnagdi, M. R. H. Elmoghayer, K. U. Sadek, in *Advances in Heterocyclic Chemistry*, A. R. Katritzky (Ed.), Academic Press Inc., San Diego, 1990, vol. 48, p. 223.
12. K. Makino, H. S. Kim, Y. Kurasawa, *J. Heterocycl. Chem.*, **36**, 321 (1999).
13. T. M. A. Elmaati, F. M. El-Taweel, *J. Heterocycl. Chem.*, **41**, 109 (2004).
14. S. M. Riyadh, I. A. Abdelhamid, H. M. Ibrahim, H. M. Al-Matar, M. H. Elnagdi, *Heterocycles*, **71**, 2545 (2007).
15. G. Hajos, Z. Riedl, in *Compr. Heterocycl. Chem. III*, A. R. Katritzky (Ed.), Elsevier Ltd., Oxford, 2008, vol. 11, p. 765.

16. V. L. Rusinov, E. N. Ulomskii, O. N. Chupakhin, V. N. Charushin, *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.*, **57**, 985 (2008). [*Изв. АН, Сер. хим.*, 967 (2008).]
17. H. F. Anwar, M. H. Elnagdi, *ARKIVOC*, i, 198 (2009).
18. J. M. Tedder, in *Advances in Heterocyclic Chemistry*, A. R. Katritzky, A. J. Boulton (Eds.), Academic Press, New York, 1967, vol. 8, p. 1.
19. M. Tisler, B. Stanovnik, *Heterocycles*, **4**, 1115 (1976).
20. G. Cirrincione, A. M. Almerico, E. Aiello, G. Dattolo, in *Advances in Heterocyclic Chemistry*, A. R. Katritzky (Ed.), Academic Press Inc., San Diego, 1990, vol. 48, p. 65.
21. J. O. Subbotina, E. V. Sadchikova, V. A. Bakulev, W. M. F. Fabian, R. Herges, *Int. J. Quant. Chem.*, **107**, 2479 (2007).
22. H. Reimlinger, A. Overstraeten, H. G. Viehe, *Chem. Ber.*, **94**, 1036 (1961).
23. E. V. Sadchikova, V. S. Mokrushin, *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.*, **54**, 354 (2005). [*Изв. АН, Сер. хим.*, 348 (2005).]
24. H. Lund, *J. Chem. Soc.*, 418 (1935).
25. R. P. Brint, D. J. Coveney, F. L. Lalor, G. Ferguson, M. Parvez, P. Y. Siew, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*, 139 (1985).
26. A. E. Hammadi, M. E. Mouhtadi, R. Notario, A. Werner, J. Elguero, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 2*, 379 (1995).
27. X.-M. Zou, F.-Z. Hu, H.-Z. Yang, *Chin. J. Struct. Chem.*, **23**, 149 (2004).
28. O. Seidel, *J. Prakt. Chem.*, **58**, 129 (1898).
29. L. Knorr, *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, **37**, 3520 (1904).
30. A. Michaelis, *Justus Liebigs Ann. Chem.*, **339**, 117 (1905).
31. A. Michaelis, A. Schäfer, *Justus Liebigs Ann. Chem.*, **397**, 119 (1913).
32. E. v. Meyer, P. Berge, R. Oehler, E. Schletter, *J. Prakt. Chem.*, **90**, 1 (1914).
33. K. H. Saunders, *The Aromatic Diazo-Compounds and their Technical Applications*, Edward Arnold & Co., London, 1949, 443 p.
34. *Гетероциклические соединения*, под ред. Р. Эльдерфилда, перевод с англ. под ред. Ю. К. Юрьева, Изд-во иностр. лит., Москва, 1954, т. 5, с. 104.
35. A. Ganesan, C. H. Heathcock, *J. Org. Chem.*, **58**, 6155 (1993).
36. C. B. Vicentini, M. Manfrini, M. Mazzanti, A. Scatturin, C. Romagnoli, D. Mares, *Arch. Pharm.*, **332**, 337 (1999).
37. E. Mohr, *J. Prakt. Chem.*, **79**, 1 (1909).
38. E. Mohr, *J. Prakt. Chem.*, **90**, 223 (1914).
39. М. В. Горелик, С. П. Титова, В. И. Рыбинов, *Журн. орган. химии*, **16**, 1322 (1980).
40. М. В. Горелик, В. И. Ломзакова, *Журн. орган. химии*, **22**, 1054 (1986).
41. G. F. Duffin, J. D. Kendall, *J. Chem. Soc.*, 408 (1954).
42. G. Pieri, E. Rosati, R. Battisti, G. Burei, US Pat. Appl. 4268436.
43. M. A. Weaver, C. A. Coates, US Pat. Appl. 4459229.
44. J. R. Beck, R. P. Gajewski, M. P. Lynch, F. L. Wright, *J. Heterocycl. Chem.*, **24**, 267 (1987).
45. E. M. Kandeel, V. B. Baghos, I. S. Mohareb, M. H. Elnagdi, *Arch. Pharm.*, **316**, 713 (1983).
46. D. G. Farnum, P. Yates, *Chem. Ind.*, **42**, 659 (1960).
47. D. G. Farnum, P. Yates, *J. Am. Chem. Soc.*, **84**, 1399 (1962).
48. W. L. Magee, C. B. Rao, J. Glinka, H. Hui, T. J. Amick, D. Fiscus, S. Kakodkar, M. Nair, H. Shechter, *J. Org. Chem.*, **52**, 5538 (1987).
49. M. H. Elnagdi, M. R. H. Elmoghayar, S. M. Fahmy, M. K. A. Ibraheim, H. H. Alnim, *Z. Naturforsch.*, **33b**, 216 (1978).
50. K. L. Kirk, L. A. Cohen, *J. Am. Chem. Soc.*, **95**, 4619 (1973).
51. H. Lund, *J. Chem. Soc.*, 686 (1933).
52. C. Musante, *Gazz. Chim. Ital.*, **75**, 109 (1945).
53. H. Reimlinger, A. van Overstraeten, *Chem. Ber.*, **99**, 3350 (1966).
54. F. Fabra, E. Fos, J. Vilarrasa, *Tetrahedron Lett.*, **20**, 3179 (1979).
55. F. Fabra, J. Vilarrasa, J. Coll, *J. Heterocycl. Chem.*, **15**, 1447 (1978).
56. W. E. Parham, I. M. Aldre, *J. Org. Chem.*, **25**, 1259 (1960).

57. E. Alcalde, J. M. Garcia-Marquina, J. De Mendoza, *An. Quim.*, **70**, 959 (1974).
58. A. Echevarria, J. Elguero, *Synth. Commun.*, **23**, 925 (1993).
59. J. F. Chiarello, D. Rugg, US Pat. Appl. 20040122075 A1.
60. V. P. Perevalov, L. I. Baryshnenkova, E. A. Denisova, M. A. Andreeva, B. I. Stepanov, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **20**, 1397 (1984). [*Химия гетероцикл. соединений*, 1691 (1984).]
61. С. А. Шевелев, И. Л. Далингер, *Журн. орган. химии*, **34**, 1127 (1998).
62. C. C. Cheng, *J. Heterocycl. Chem.*, **5**, 195 (1968).
63. L. I. Bagal, M. S. Pevzner, A. N. Frolov, N. I. Sheludyakova, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **6**, 240 (1970). [*Химия гетероцикл. соединений*, 259 (1970).]
64. N. V. Latypov, V. A. Silevich, P. A. Ivanov, M. S. Pevzner, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **12**, 1355 (1976). [*Химия гетероцикл. соединений*, **12**, 1649 (1976).]
65. P. A. S. Smith, H. Douchis, *J. Org. Chem.*, **38**, 2958 (1973).
66. D. Clarke, R. W. Mares, H. McNab, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. I*, 1799 (1997).
67. R. Bellemin, D. Festal, *J. Heterocycl. Chem.*, **21**, 1017 (1984).
68. S. Yamamoto, T. Sato, Y. Iwasawa, F. Suzuki, T. Ikai, K. Suzuki, T. Nawamaki, *J. Pesticide Sci.*, **15**, 531 (1990).
69. B. Kumar, R. Soni, J. Z. Patel, S. Jha, S. A. Shedage, N. Gandhi, K. V. Sairam, V. Pawar, N. Sadhwani, P. Mitra, M. R. Jain, P. R. Patel, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **18**, 3882 (2008).
70. M. K. Spassova, R. D. Zakhariyeva, *Collect. Czech. Chem. Commun.*, **54**, 196 (1989).
71. S. Yamamoto, K. Morimoto, T. Sato, *J. Heterocycl. Chem.*, **28**, 1545 (1991).
72. T. Nishiwaki, F. Fujiyama, E. Minamisono, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. I*, 1871 (1974).
73. R. B. Toche, M. A. Kazi, M. N. Jachak, *Org. Prep. Proced. Int.*, **40**, 551 (2008).
74. Н. Корнблум, в кн. *Органические реакции*, под ред. А. Я. Берлина, Изд-во иностр. лит., Москва, 1950, Сб. 2, с. 285.
75. K. Kirschke, in *Houben-Weyl. Methoden der organischen chemie*, D. Klamann, E. Schaumann (Eds.), Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1994, p. 399.
76. X. L. Ren, H. B. Li, Ch. Wu, H. Z. Yang, *ARKIVOC*, xv, 59 (2005).
77. J. De Mendoza, J. M. Garcia-Marquina, *An. Quim.*, **66**, 911 (1970).
78. E. Jucker, A. J. Lindenmann, A. Vogel, US Pat. Appl. 3299091.
79. G. Ege, K. Gilbert, R. Heck, *Chem. Ber.*, **117**, 1726 (1984).
80. M. A. Khan, A. C. C. Freitas, *J. Heterocycl. Chem.*, **20**, 277 (1983).
81. M. Taniguchi, T. Sato, US Pat. Appl. 5110941.
82. Y. F. Shealy, C. A. O'Dell, *J. Pharm. Sci.*, **60**, 554 (1971).
83. G. Ege, K. Gilbert, R. Heck, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **21**, 698 (1982).
84. G. Daidone, D. Raffa, B. Maggio, M. V. Raimondi, F. Plescia, D. Schillaci, *Eur. J. Med. Chem.*, **39**, 219 (2004).
85. C. W. Noell, C. C. Cheng, *J. Med. Chem.*, **14**, 1245 (1971).
86. E. A. Al-Agamey, M. R. H. Elmoghayar, *An. Quim., Ser. C*, **81**, 14 (1985).
87. J. Schawartz, M. Hornyak, E. Majorszki, A. David, G. Horvath, US Pat. Appl. 4049639.
88. Л. В. Шмелев, Е. П. Анпёнова, Г. В. Авраменко, *Журн. орган. химии*, **29**, 601 (1993).
89. Г. В. Авраменко, З. В. Безуглая, Е. П. Анпёнова, Е. В. Жилина, *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, **36**, 43 (1993).
90. M. W. Partridge, M. F. G. Stevens, *J. Chem. Soc. C*, 1127 (1966).
91. V. M. Dziomko, B. K. Berestevich, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **14**, 313 (1978). [*Химия гетероцикл. соединений*, 382 (1978).]
92. A. M. S. Youssef, R. A. M. Faty, M. M. Youssef, *J. Korean Chem. Soc.*, **45**, 448 (2001).
93. V. M. Dziomko, B. K. Berestevich, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **15**, 657 (1979). [*Химия гетероцикл. соединений*, 805 (1978).]
94. F. Benguerel, R. Mislin, US Pat. Appl. 4685934.
95. U. Dreyer, R. Gross, US Pat. Appl. 3133051.

96. M. W. Partridge, M. F. G. Stevens, *J. Chem. Soc. C*, 1828 (1967).
97. E. B. Towne, W. H. Moore, J. B. Dickey, US Pat. Appl. 3336285.
98. D. D. Chapman, US Pat. Appl. 5144015.
99. H. S. El-Kashef, K. U. Sadek, M. H. Elnagdi, *J. Chem. Eng. Data*, **27**, 103 (1982).
100. S. M. Fahmy, M. El-Hosami, S. El-Gamal, M. H. Elnagdi, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **32**, 1042 (1982).
101. A. Deeb, M. El-Mobayed, A. E. N. Essawy, A. Abd El Hamid, *Collect. Czech. Chem. Commun.*, **55**, 2790 (1990).
102. F. Karci, *Color. Technol.*, **121**, 275 (2005).
103. F. Karci, F. Karci, *Dyes Pigm.*, **76**, 147 (2008).
104. E. A.-A. Hafez, E. M. Zayed, K. U. Sadek, *J. Heterocycl. Chem.*, **22**, 241 (1985).
105. E. M. Zayed, A. A. A. Elbannany, S. A. S. Ghozlan, *Pharmazie*, **40**, 194 (1985).
106. A. A. A. Elbannany, L. I. Ibrahiem, S. A. S. Ghozlan, *Pharmazie*, **43**, 128 (1988).
107. M. A. Weaver, L. Shuttleworth, *Dyes Pigm.*, **3**, 81 (1982).
108. N. A. Hamdy, H. A. Abdel-Aziz, A. M. Farag, I. M. I. Fakhr, *Monatsh. Chem.*, **138**, 1001 (2007).
109. M. A. Radwan, E. A. Ragab, N. M. Sabry, S. M. El-Shenawy, *Bioorg. Med. Chem.*, **15**, 3832 (2007).
110. Y. Kurasawa, H. S. Kim, K. Yonekura, A. Takada, Y. Okamoto, *J. Heterocycl. Chem.*, **26**, 857 (1989).
111. К. В. Вацуро, Г. Л. Мищенко, *Именные реакции в органической химии*, Химия, Москва, 1976.
112. Y. Ahmad, P. A. S. Smith, *J. Org. Chem.*, **36**, 2972 (1971).
113. K. M. Dawood, A. M. Farag, N. A. Khedr, *ARKIVOC*, xv, 166 (2008).
114. C. L. Bogza, V. I. Dulenko, S. Yu. Zinchenko, K. I. Kobrakov, I. V. Pavlov, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **40**, 1506 (2004). [*Химия гетероцикл. соединений*, 1738 (2004).]
115. С. Богза, С. Зінченко, *Вісн. Львів. ун-ту. Серія хім.*, **49**, 3 (2008).
116. V. V. Didenko, V. A. Voronkova, Kh. S. Shikhaliev, *Russ. J. Org. Chem.*, **45**, 211 (2009). [*Журн. орган. химии*, **45**, 223 (2009).]
117. E. V. Tretyakov, D. W. Knight, S. F. Vasilevsky, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 3721 (1999).
118. S. F. Vasilevsky, E. V. Tretyakov, *Liebigs Ann.*, **1995**, 775 (1995).
119. R. Justoni, R. Fusco, *Gazz. Chim. Ital.*, **68**, 59 (1938).
120. C. C. Cheng, R. K. Robins, K. C. Cheng, D. C. Lin, *J. Pharm. Sci.*, **57**, 1044 (1968).
121. S. Bondock, R. Rabie, H. A. Etman, A. A. Fadda, *Eur. J. Med. Chem.*, **43**, 2122 (2008).
122. A. M. K. El-Dean, A. A. Geies, *J. Chem. Res., Synop.*, 352 (1997).
123. F. Seela, M. Lindner, V. Glaçon, W. Lin, *J. Org. Chem.*, **69**, 4695 (2004).
124. J. A. Montgomery, H. J. Thomas, *J. Med. Chem.*, **15**, 182 (1972).
125. F. M. A. El-Taweel, *Alexandria J. Pharm. Sci.*, **12**, 11 (1998).
126. B. Yang, Y. Lu, C.-J. Chen, J.-P. Cui, M.-S. Cai, *Dyes Pigm.*, **83**, 144 (2009).
127. G. R. Bedford, M. W. Partridge, M. F. G. Stevens, *J. Chem. Soc. C*, 1214 (1966).
128. J. Slouka, J. Kubata, V. Bekarek, *Acta Univ. Palack. Olomuc.: Fac. Rerum Natur.*, **49**, 219 (1976).
129. A. G. A. Elagamey, F. M. A. El-Taweel, F. A. Amer, *Collect. Czech. Chem. Commun.*, **51**, 2193 (1986).
130. T. Novinson, T. Okabe, R. K. Robins, T. R. Matthews, *J. Med. Chem.*, **19**, 517 (1976).
131. M. H. Elnagdi, E. M. Zayed, M. A. E. Khalifa, S. A. Ghozlan, *Monatsh. Chem.*, **112**, 245 (1981).
132. A. O. Abdelhamid, H. F. Zohdi, G. S. Mohamed, *Heteroat. Chem.*, **10**, 508 (1999).
133. E. V. Shchegolkov, Y. V. Burgart, O. G. Khudina, V. I. Saloutin, O. N. Chupakhin, *Russ. Chem. Rev.*, **79**, 31 (2010). [*Успехи химии*, **79**, 33 (2010).]
134. M. Kočevár, D. Kolman, H. Krajnc, S. Polanc, B. Porovne, B. Stanovnik, M. Tišler, *Tetrahedron*, **32**, 725 (1976).

135. В. В. Диденко, И. В. Леденёва, Х. С. Шихалиев, *Вестн. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация*, № 1, 7 (2010).
136. O. G. Khudina, E. V. Shchegol'kov, Ya. V. Burgart, M. I. Kodess, O. N. Kazheva, A. N. Chekhlov, G. V. Shilov, O. A. Dyachenko, V. I. Saloutin, O. N. Chupakhin, *J. Fluorine Chem.*, **126**, 1230 (2005).
137. M. R. Shaaban, *J. Fluorine Chem.*, **129**, 1156 (2008).
138. A. Z. A. Hassaniien, S. A. S. Ghozlan., M. H. Elnagdi, *J. Chinese Chem. Soc.*, **51**, 575 (2004).
139. A. G. A. Elagamey, F. A. El Taweel, F. A. Amer, H. H. Zoorob, *Arch. Pharm.*, **320**, 246 (1987).
140. V. V. Didenko, Kh. S. Shikhaliev, I. V. Ledenyova, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **45**, 248 (2009). [*Химия гетероцикл. соединений*, 307 (2009).]
141. E. M. Zayed, S. A. S. Ghozlan, A.-A. H. Ibrahim, *Monatsh. Chem.*, **115**, 431 (1984).
142. M. A. Raslan, R. M. Abd El-Aal, M. E. Hassan, N. A. Ahamed, K. U. Sadek, *J. Chinese Chem. Soc.*, **48**, 91 (2001).
143. M. H. Elnagdi, M. R. H. Elmoghayer, H. A. Elfaham, M. M. Sallam, H. H. Alnima, *J. Heterocycl. Chem.*, **17**, 209 (1980).
144. M. A. Barsy, E. A. Elrady, M. E. Hassan, F. M. Abd El Latif, *Heterocycl. Commun.*, **6**, 545 (2000).
145. K. U. Sadek, M. A. Selim, M. H. Elnagdi, H. H. Otto, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **66**, 2927 (1993).
146. C. Almansa, A. F. de Arriba, F. L. Cavalcanti, L. A. Gómez, A. Miralles, M. Merlos, J. García-Rafanell, J. Forn, *J. Med. Chem.*, **44**, 350 (2001).
147. A. O. Abdelhamid, V. B. Baghos, M. M. A. Halim, *J. Chem. Res., Synop.*, **31**, 420 (2007).
148. D. M. Berger, M. D. Dutia, D. W. Hopper, N. Torres, WO Pat. Appl. 2009039387.
149. M. Azimioara, C. Cow, R. Epple, G. Lelais, J. Mecom, V. Nikulin, US Pat. Appl. 8575168.
150. E. J. Gray, M. F. G. Stevens, G. Tennant, R. J. S. Vevers, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. I*, No. 14, 1496 (1976).
151. O. A. Fathalla, M. E. A. Zaki, *Indian J. Chem., Sect. B: Org. Chem. Incl. Med. Chem.*, **37B**, 484 (1998).
152. M. H. Elnagdi, N. H. Taha, F. A. M. Abd El All, R. M. Abdel-Motaleb, F. F. Mahmoud, *Collect. Czech. Chem. Commun.*, **54**, 1082 (1989).
153. M. M. Girges, M. A. Hanna, A. A. Fadda, *Chem. Pap.*, **47**, 186 (1993).
154. M. R. H. Elmoghayar, M. K. A. Ibrahim, I. El-Sakka, A. H. H. Elghandour, M. H. Elnagdi, *Arch. Pharm.*, **316**, 697 (1983).
155. F. Karcı, İ. Şener, A. Demirçalı, N. Burukoğlu, *Color. Technol.*, **122**, 264 (2006).
156. M. R. H. Elmoghayar, S. O. Abdalla, M. Y. A.-S. Nasr, *J. Heterocycl. Chem.*, **21**, 781 (1984).
157. A. G. A. Elagamey, *Arch. Pharmacal Res.*, **10**, 173 (1987).
158. J. Slouka, V. Bekarek, *Collect. Czech. Chem. Commun.*, **49**, 275 (1984).
159. A. M. Farag, Z. E. Kandeel, M. H. Elnagdi, *J. Chem. Res., Synop.*, 10 (1994).
160. S. M. Hassan, M. M. Abdel Aal, A. A. El-Maghraby, M. S. Bashandy, *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.*, **184**, 427 (2009).
161. P. Cankar, J. Slouka, *J. Heterocycl. Chem.*, **40**, 71 (2003).
162. Е. Н. Уломский, С. Л. Деев, В. Л. Русинов, О. Н. Чупахин, *Журн. орган. химии*, **35**, 1384 (1999).
163. M. A. E. Khalifa, E. M. Zayed, M. H. Mohamed, M. H. Elnagdi, *Indian J. Chem., Sect. B: Org. Chem. Incl. Med. Chem.*, **22B**, 552 (1983).
164. M. M. M. Ramiz, A. H. H. Elgandour, A.-G. A. Elagamey, *J. Prakt. Chem.*, **330**, 641 (1988).
165. M. M. Abdelall, *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.*, **184**, 2208 (2009).
166. I. V. Ledenyova, V. V. Didenko, V. V. Dotsenko, K. S. Shikhaliev, *Tetrahedron Lett.*, **55**, 1239 (2014).

167. A. M. Farag, K. M. Dawood, H. A. Abdel-Aziz, *J. Chem. Res.*, 808 (2004).
168. A. M. Farag, K. M. Dawood, Z. E. Kandeel, *Tetrahedron*, **52**, 7893 (1996).
169. M. A. Berghot, E. B. Moawad, *Eur. J. Pharm. Sci.*, **20**, 173 (2003).
170. S. M. Sayed, M. A. Raslan, M. A. Khalil, K. M. Dawood, *Heteroat. Chem.*, **10**, 385 (1999).
171. M. M. A. Khalik, *J. Chem. Res., Synop.*, **21**, 198 (1997).
172. N. M. Abed, N. S. Ibrahim, S. M. Fahmy, M. H. Elnagdi, *Org. Prep. Proced. Int.*, **17**, 107 (1985).
173. В. Л. Русинов, О. Н. Чупахин, *Рос. хим. журн.*, **41** (2), 103 (1997).
174. V. L. Rusinov, E. N. Ulomskii, O. N. Chupakhin, M. M. Zubairov, A. B. Kapustin, N. I. Mitin, M. I. Zhiravetskii, I. A. Vinograd, *Pharm. Chem. J.*, **24**, 646 (1990). [*Хим.-фарм. журн.*, **24**, № 9, 41 (1990).]
175. V. L. Rusinov, T. L. Pilicheva, O. N. Chupakhin, N. A. Klyuev, D. T. Allakhverdieva, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **22**, 543 (1986). [*Химия гетероцикл. соединений*, 662 (1986).]
176. M. A. Al-Shiekh, A. M. S. El-Din, E. A. Hafez, M. H. Elnagdi, *J. Chem. Res.*, 174 (2004).
177. H. A. Abdel-Aziz, N. A. Hamdy, I. M. I. Fakhr, A. M. Farag, *J. Heterocycl. Chem.*, **45**, 1033 (2008).
178. M. R. Shaaban, T. S. Saleh, A. M. Farag, *Heterocycles*, **78**, 699 (2009).
179. A. O. Abdelhamid, A. A. Fahmi, K. N. M. Halim, *Synth. Commun.*, **43**, 1101 (2013).
180. A. O. Abdelhamid, A. A. Fahmi, A. A. M. Alsheflo, *Eur. J. Chem.*, **3**, 129 (2012).
181. M. A. Mohamed, *J. Heterocycl. Chem.*, **47**, 517 (2010).
182. K. M. Dawood, *Heteroat. Chem.*, **15**, 432 (2004).
183. A. O. Abdelhamid, A. S. Shawali, *Z. Naturforsch., B: J. Chem. Sci.*, **42**, 613 (1987).
184. H. Reimlinger, R. Merenyi, *Chem. Ber.*, **103**, 3284 (1970).
185. S. Al-Mousawi, E. John, M. M. Abdelkhalik, M. H. Elnagdi, *J. Heterocycl. Chem.*, **40**, 689 (2003).
186. T. A. Farghaly, M. M. Abdalla, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **17**, 8012 (2009).
187. H. M. Hassaneen, N. M. Abunada, H. M. Hassaneen, *Nat. Sci.*, **2**, 1349 (2010).
188. Kh. S. Shikhaliev, V. V. Didenko, V. A. Voronkova, D. V. Kryl'skii, *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.*, **58**, 1034 (2009). [*Изв. АН, Сер. хим.*, **58**, 1008 (2009).]
189. R. A. M. Faty, A. M. S. Youssef, *Curr. Org. Chem.*, **13**, 1577 (2009).
190. J. Farras, E. Fos, R. Ramos, J. Vilarrasa, *J. Org. Chem.*, **53**, 887 (1988).
191. И. В. Леденева, В. В. Диденко, Х. С. Шихалиев, *Бутлеровские сообщения*, **17** (5), 24 (2009).
192. I. V. Ledenyova, V. V. Didenko, A. S. Shestakov, Kh. S. Shikhaliev, *J. Heterocycl. Chem.*, **50**, 573 (2013).

¹ Воронежский государственный университет,
Университетская пл., 1, Воронеж 394006, Россия
e-mail: chocd261@chem.vsu.ru

Поступило 29.07.2014