

— ОБЗОРЫ —

Научная статья

УДК 547.745

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-51-82>

**Методы синтеза 3-гидроксипиррол-2-онов,  
спироаннелированных пяти- и шестичленными гетероциклами**

**Никита Алексеевич Третьяков, Андрей Николаевич Масливец**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Описаны литературные источники, описывающие синтез спиросоединений, содержащих 3-гидроксипиррол-2-оновый фрагмент. Цель этого литературного обзора – показать место и удобство методов синтеза спиросоединений, содержащих 3-гидроксипиррол-2-оновый фрагмент, именно гетероциклизацией 1Н-пиррол-2,3-дионов по сравнению с другими методами их синтеза.

**Ключевые слова:** 1Н-пиррол-2,3-дионы; гетеро[е]пиррол-2,3-дионы; 3-гидроксипиррол-2-оны; спироаннелирование.

**Для цитирования:** Третьяков Н.А., Масливец А.Н. Методы синтеза 3-гидроксипиррол-2-онов, спироаннелированных пяти- и шестичленными гетероциклами // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 2. С. 51–82. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-51-82>.

OriginalArticle

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-51-82>

**Methods of synthesis of 3-hydroxypyrrol-2-ones  
spiro-annulated by five- and six-membered heterocycles**

**Nikita A. Tretyakov, Andrey N. Maslivets**

Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** Literature sources describing the synthesis of spiro compounds containing a 3-hydroxypyrrol-2-one fragment are described. The purpose of this literature review is to show the place and convenience of methods for the synthesis of spiro compounds containing a 3-hydroxypyrrol-2-one fragment heterocyclization of 1H-pyrrol-2,3-diones, compared with other methods of their synthesis.

**Key words:** 1H-pyrrol-2,3-diones, hetero[e]pyrrol-2,3-diones, 3-hydroxypyrrol-2-ones, spiro-annulation

**For citation:** Tretyakov, N.A. and Maslivets, A.N. (2023) “Methods of synthesis of 3-hydroxypyrrol-2-ones spiro-annulated by five- and six-membered heterocycles”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 2, pp. 51–82. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-51-82>

В литературе описаны методы синтеза следующих классов спиросоединений, содержащих 3-гидроксипиррол-2-оновый фрагмент: спиро[пиррол-2-циклопентан]-5-онов, спиро[пиррол-2,3'-фуран]-2-онов, спиро[пиррол-2,3'-пиррол]-5-онов, спиро[пиррол-2,3'-индол]-5-онов, спиро[пиррол-2,5'-имидазол]-5-онов,

спиро[пиррол-2,5'-тиазол]-5-онов, спиро[пиррол-2-циклогексан]-5-онов, спиро[пиррол-2-пиран]-5-онов, спиро[пиррол-2-пиперидин]-5-онов, спиро[пиррол-2,2'-пиазин]-5-онов, спиро[пиррол-2,2'-хиноксалин]-5-онов и спиро[пиррол-2,2'-тиазин]-5-онов (схема 1).

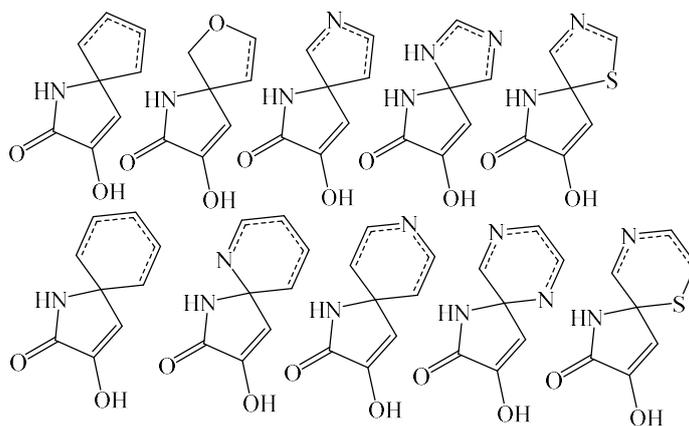


Схема 1

### Образование

#### спиро[пиррол-2,1'-циклопентан]-5-онов

В литературе имеются два примера образования 3-гидроксипиррол-2-онов, аннелированных спиро-циклопентановым циклом.

При взаимодействии L-триптофана и 3-(1*H*-индол-3-ил)-2-оксoproпанамида образуется 3-гидрокси-4,7,8-три(1*H*-индол-3-ил)-1-азаспиро[4.4]нон-3,7-диен-2,6,9-трион [1] (схема 2).

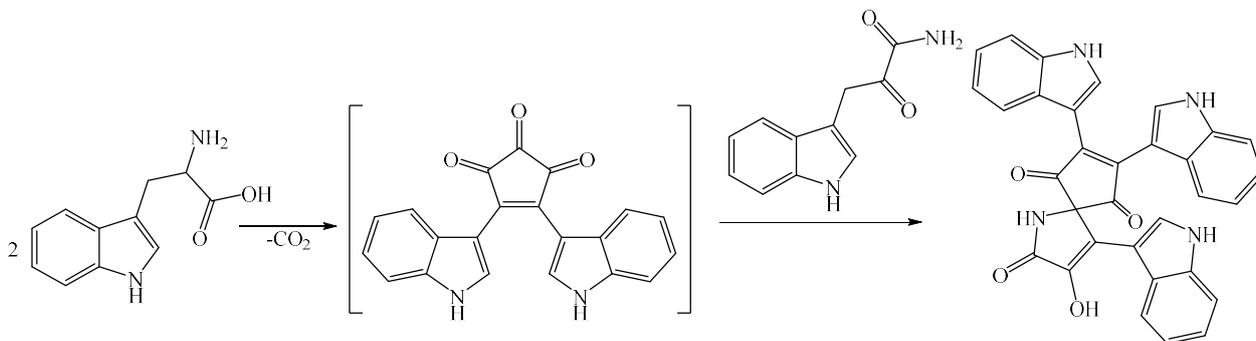


Схема 2

При взаимодействии *N*-арил-9*H*-флуорен-9-имин оксидов и этил 2-бензилбут-2,3-диеноата образуются этил 3'-бензил-4',5'-диоксо-1'-

фенилспиро[флуорен-9,2'-пирролидин]-3'-карбоксилаты [2] (схема 3).

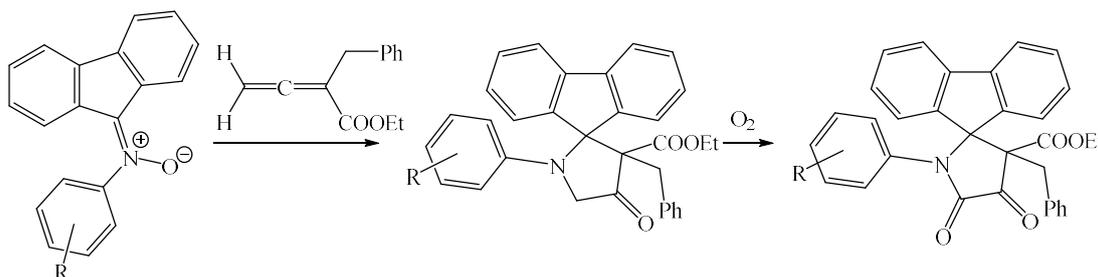


Схема 3

В первом случае происходит замыкание гидроксипирролонового цикла за счет последовательного образования связей  $C^3-C^{spiro}$  и  $N^1-C^{spiro}$ , во втором – модификация имеющегося пиррольного цикла.

#### Образование спиро[пиррол-2,3'-фуран]-2-онов

В литературе описаны несколько примеров синтеза 3-гидроксипиррол-2-онов, аннелированных спиро-фурановым циклом. Во всех исследованных случаях происходит надстройка 3-гидроксипиррол-2-онов спиро-фурановым циклом за счет последовательного образования

связей  $C^4-C^{spiro}$  и  $O-C(=O)-C^{spiro}$  фуранового цикла.

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 5,5-диметилциклогексан-1,3-дионом вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и ОН енольной формы карбоциклического енола атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  образуются 3'-ароил-4'-гидрокси-1'-(2-гидроксифенил)-6,6-диметил-6,7-дигидро-2*H*-спиро[бензофуран-3,2'-пиррол]-2,4,5'-(1'*H*,5*H*)-трионы [3, 4] (схема 4).

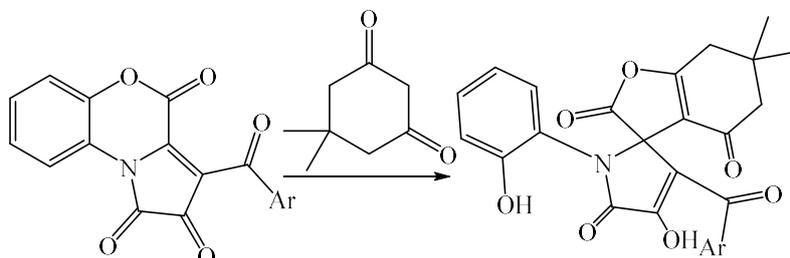


Схема 4

При взаимодействии 4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионон с хроман-2,4-дионом или с замещенными хинолин-2,4(1*H*,3*H*)-дионом вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и ОН енольной формы гетероциклического енола атома  $C^4$  и группы  $COOMe$  пирролдиона с отщеплением молекулы

метанола образуются соответственно 1'-арил-3'-ароил-4'-гидрокси-2*H*,4*H*-спиро[фуро[3,2-*c*]хромен-3,2'-пиррол]-2,4,5'-(1'*H*)-трионы или 1'-арил-3'-ароил-4'-гидрокси-2*H*-спиро[фуро[3,2-*c*]хинолин-3,2'-пиррол]-2,4,5'-(1'*H*,5*H*)-трионы [5] (схема 5).

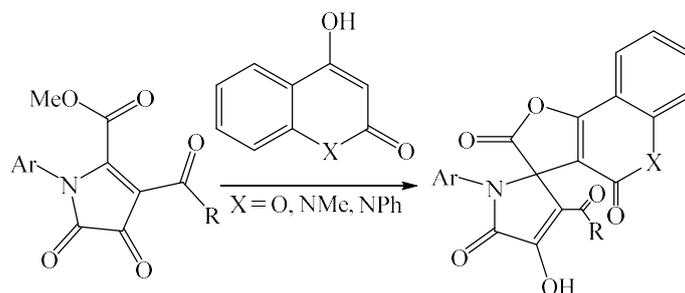


Схема 5

При взаимодействии 4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионон с 2-гидроксиафталин-1,4-дионом по аналогичной

схеме образуются 1'-арил-3'-ароил-4'-гидрокси-2*H*-спиро[нафто[2,3-*b*]фуран-3,2'-пиррол]-2,4,5',9(1'*H*)-тетраоны [6] (схема 6).

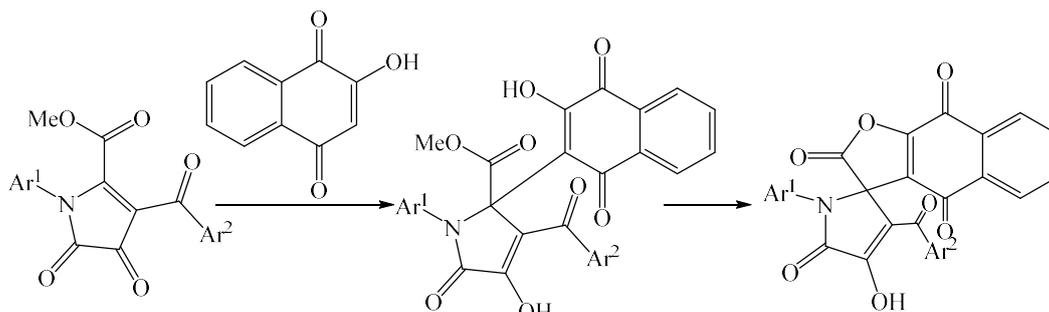


Схема 6

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с различными кетонами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и ОН енольной формы метилкетона атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  обра-

зуются 4-ацил-3-гидрокси-1-(2-гидроксифенил)-7-окса-1-азаспиро[4.4]нон-3-ен-2,6-дионы и 4-ацил-1-(2-гидроксифенил)-1*H*,8*H*-6,8<sup>*a*</sup>-метано[1,3]диоксепино[5,6-*b*]пиррол-2,3,8-трионы [7] (схема 7).

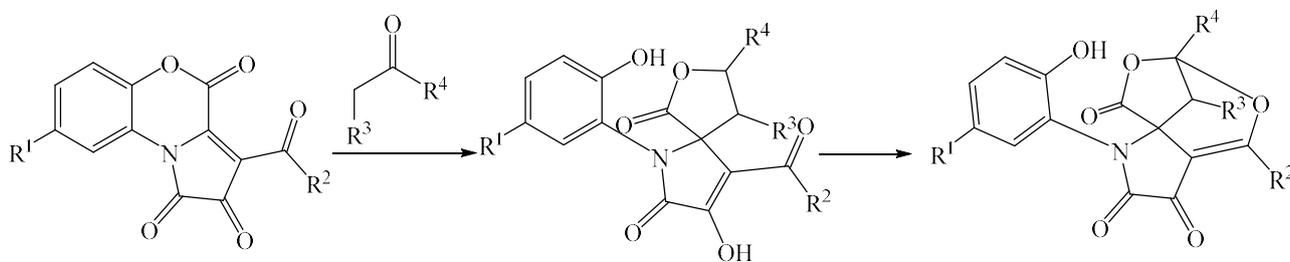


Схема 7

### Образование

#### спиро[пиррол-2,3'-пиррол]-5-онов

В литературе описано большое количество примеров синтеза 3-гидроксипиррол-2-онов, аннелированных спиро-пиррольным циклом (или индольным фрагментом).

В большинстве исследованных случаев происходит надстройка 3-гидроксипиррол-2-онов спиро-пиррольным циклом (или индольным фрагментом) за счет последовательного образования связей  $C^4-C^{spiro}$  и  $N-C(=O)-C^{spiro}$  пиррольного цикла вследствие атаки соот-

ветствующего 1,3-СН,НН-бинуклеофила моноциклических 1*H*-пиррол-2,3-дионов и гетероно[*e*]пиррол-2,3-дионов.

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 1,2,3,4-тетрагидрохинолином вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH хинолина атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с расщеплением связи  $C^4-O^5$  образуются 3-ароил-4-гидрокси-1-(2-гидроксифенил)-5',6'-дигидро-2'*H*,4'*H*-спиро[пиррол-2,1'-пирроло[3,2,1-*ij*]хинолин]-2',5'(1*H*)-дионы [8, 9] (схема 8).

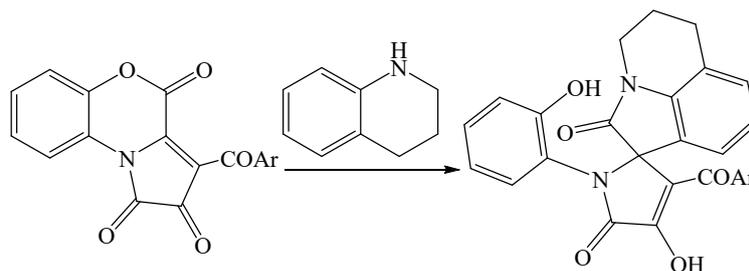


Схема 8

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с *N*-алкиланилинами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH анилина атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с расщеп-

лением связи  $C^4-O^5$  образуются 1-алкил-3'-ароил-4'-гидрокси-1'-(2-гидроксифенил)спиро[индолин-3,2'-пиррол]-2,5'(1*H*)-дионы [10] (схема 9).

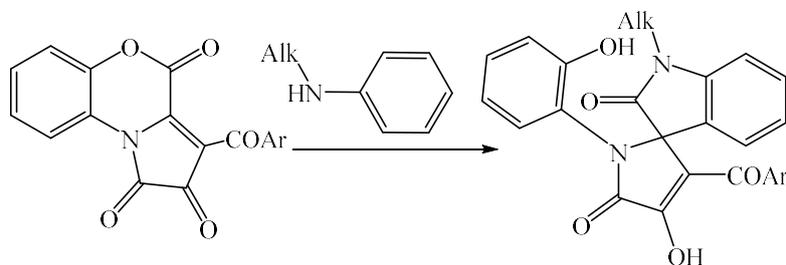


Схема 9

При взаимодействии 1-арил-4-ацил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с ациклическими енаминами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной формы ациклического енамина атома  $C^4$  и

группы COOMe пирролдиона с отщеплением молекулы метанола образуются 1-арил-4-ацил-3-гидрокси-1,7-диазаспиро[4.4]нон-3,8-диен-2,6-дионы [11–20] (схема 10).

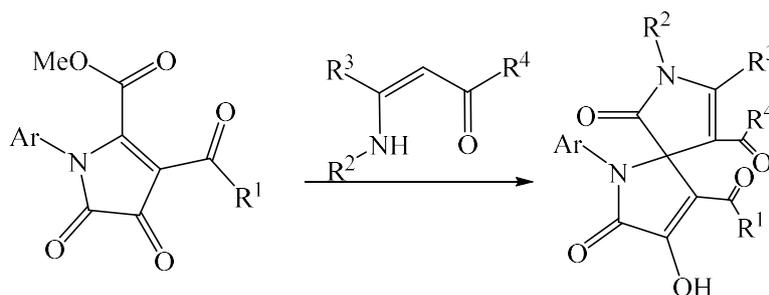


Схема 10

При взаимодействии 1-арил-4,5-диароил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 3-аминобут-2-еннитрилом вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной формы бутеннитрила атома  $C^4$  и карбонильной группы ароильного

фрагмента у атома  $C^4$  пирролдиона с отщеплением молекулы воды образуются 1,6-диарил-4-ароил-3-гидрокси-8-метил-2-оксо-1,7-диазаспиро[4.4]нон-3,6,8-триен-9-карбонитрилы [21] (схема 11).

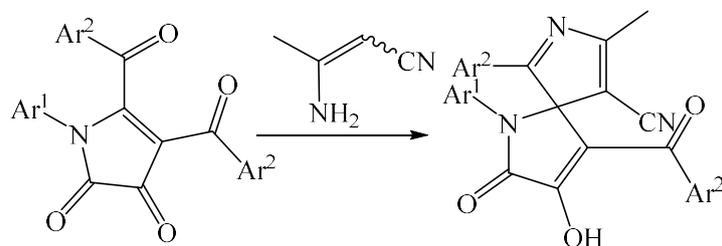


Схема 11

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с ациклическими енаминами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной

формы пропена атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  образуются 4-ароил-1-(гидроксифенил)-3-гидрокси-1,7-диазаспиро[4.4]нон-3,8-диен-2,6-дионы и

мостиковые 1-(2-гидроксифенил)-4-арил-2,3,8(7H)-трионы [22–6] (схема 12).  
1H,6H-6,8<sup>a</sup>-метано-пирроло[2,3-e][1,3]оксазепин

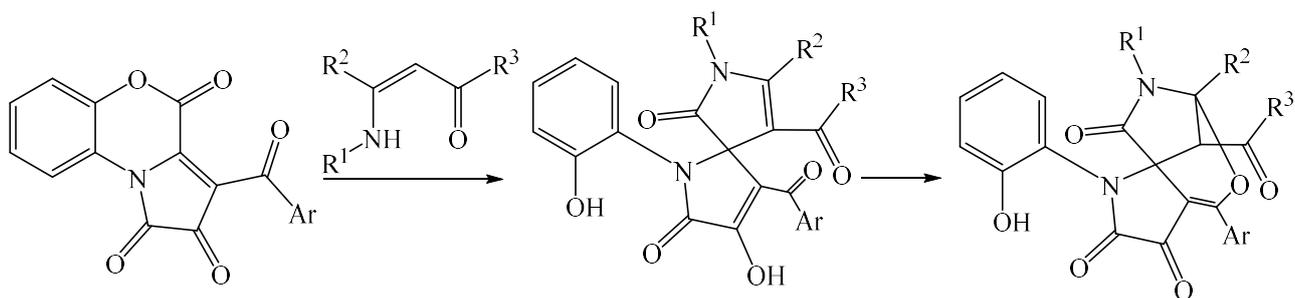


Схема 12

При взаимодействии 3-арил-1H-пирроло[2,1-c][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с алкалоидными 1-алкил-3,3-диметил-2-азаспиро[4.5]дека-1,6,9-триен-8-онами вследствие нуклеофильной атаки группами β-СН и NH енаминной формы азаспиродекатриенонов атомов С<sup>3a</sup> и С<sup>4</sup> пирролобензоксазинтриона с расщеплением связи С<sup>4</sup>-О<sup>5</sup> образуются 7'-алкил-3''-ароил-4''-гидрокси-1''-(2-гидроксифенил)-3',3'-

диметил-2',3'-дигидро-5H-диспиро[циклогексан-1,1'-пирролизин-6',2''-пиррол]-2,5-диен-4,5',5''(1''H)-трионы и мостиковые 11'-алкил-4'-арил-1'-(2-гидроксифенил)-8',8'-диметил-7',8'-дигидро-1'H,10'H-спиро[циклогексан-1,6'-[5<sup>a</sup>,10<sup>a</sup>]метанодипирроло[2,1-b:2',3'-e][1,3]оксазепин]-2,5-диен-2',3',4,10'-тетраоны [27–30](схема 13).

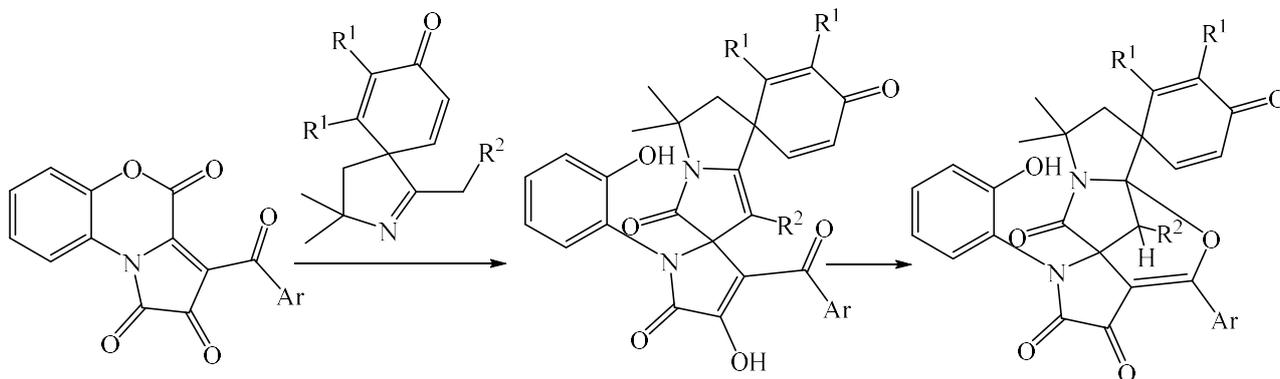


Схема 13

При взаимодействии метил 1-арил-3-ацил-4,5-диоксо-1H-пиррол-2-карбоксилатов с имидами димедона образуются 1'-арил-3'-ацил-4'-

гидрокси-6,6-диметил-6,7-дигидроспиро[индол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1H,1'H,5H)-трионы [31–39] (схема 14).

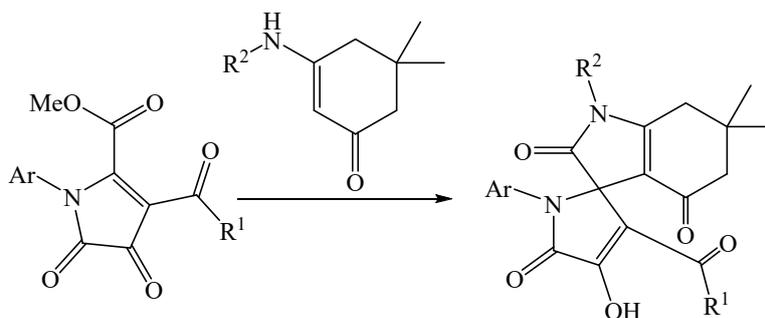


Схема 14

При взаимодействии 3-арил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 3-амино-5,5-диметилциклогекс-2-ен-1-онами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной формы циклогексенона

атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с расщеплением связи  $C^4-O^5$  образуются 3'-арил-1'-(2-гидроксифенил)-4'-гидрокси-6,6-диметил-6,7-дигидроспиро[индол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1*H*,1'*H*,5*H*)-трионы [40–44](схема 15).

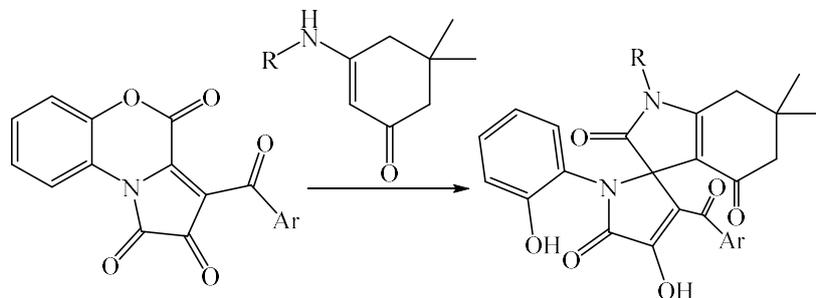


Схема 15

При взаимодействии 2-арил-8-ароил-3,4-дигидропирроло[1,2-*a*]пирозин-1,6,7(2*H*)-трионов с 3-амино-5,5-диметилциклогекс-2-ен-1-онами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной формы цикло-

гексенона атомов  $C^{8a}$  и  $C^1$  пирролопирозинтриона с расщеплением связи  $C^1-N^2$  образуются 1'-(2-(ариламино)этил)-3'-ароил-4'-гидрокси-6,6-диметил-6,7-дигидроспиро[индол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1*H*,1'*H*,5*H*)-трионы [45] (схема 16).

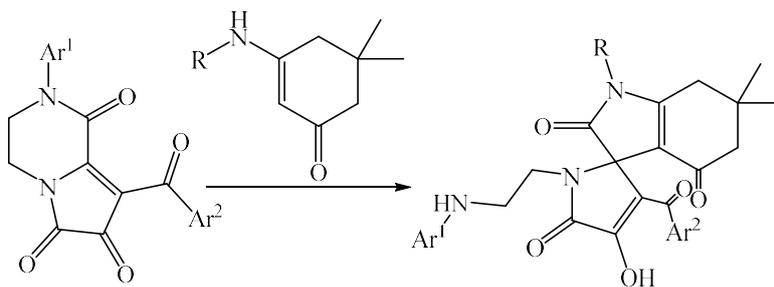


Схема 16

При взаимодействии 1-арил-5-метоксикарбонил-4-фенил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 6-амино-1,3-диметилурацилом вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной формы урацила атома  $C^4$  и группы СООМе пирролдиона с отщеплением молекулы метанола образуются метил 6-арил-

10-бензоил-8-гидрокси-1,3-диметил-2,4,7-триоксо-1,2,3,4,6,7,8,9-октагидро-5*H*-5,8-метано-пиримидо[4,5-*e*][1,4]дiazепин-5-карбоксилаты и 1-арил-3-бензоил-4-гидрокси-1',3'-диметил-спиро[пиррол-2,5'-пирроло[2,3-*d*]пиримидин]-2',4',5,6'(1*H*,1'*H*,3'*H*,7'*H*)-тетраоны [46] (схема 17).

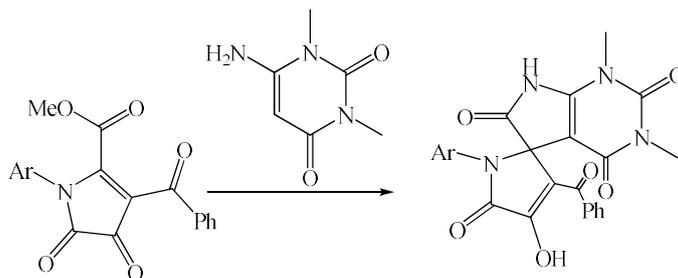


Схема 17

При взаимодействии 1-арил-4,5-диарил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 6-амино-1,3-диметилаурацилом вследствие нуклеофильной атаки группами β-СН и NH енаминной формы урацила атома С<sup>4</sup> и карбонильной группы аро-

ильного фрагмента у атома С<sup>4</sup> пирролдиона с отщеплением молекулы воды образуются 1,6'-диарил-3-арил-4-гидрокси-1',3'-диметилспиро[пиррол-2,5'-пирроло[2,3-*d*]пиримидин]-2',4',5 (1*H*,1'*H*,3'*H*)-трионы [47] (схема 18).

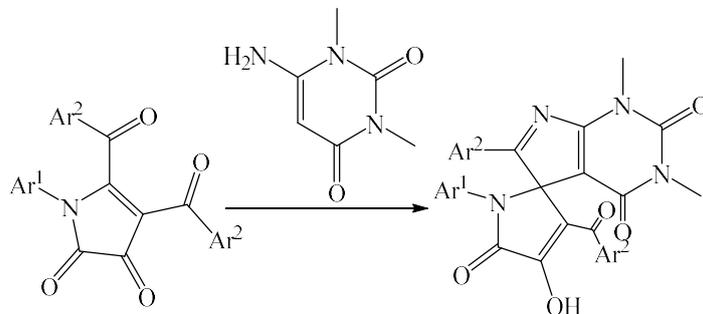


Схема 18

При взаимодействии 1-арил-4-ацил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 3-(ариламино)-1*H*-инден-1-онами вследствие нуклеофильной атаки группами β-СН и NH енаминной формы инденонов атома С<sup>4</sup> и груп-

пы COOMe пирролдиона с отщеплением молекулы метанола образуются 1,1'-диарил-3'-ацил-4'-гидрокси-2*H*-спиро[индено[1,2-*b*]пиррол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1*H*,1'*H*)-трионы [48–50] (схема 19).

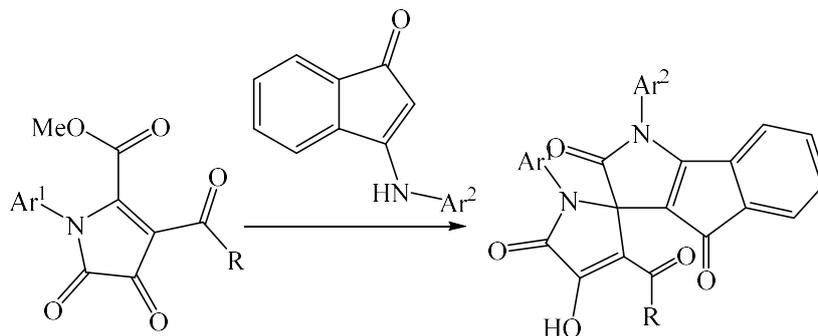


Схема 19

При взаимодействии 1-арил-4-арил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с 1,3,3-триметил-3,4-дигидроизохинолинами вследствие нуклеофильной атаки группами β-СН и NH енаминной формы изохинолинов ато-

ма С<sup>4</sup> и группы COOMe пирролдиона с отщеплением молекулы метанола образуются 1-арил-3-арил-4-гидрокси-5',5'-диметил-5',6'-дигидро-3'*H*-спиро[пиррол-2,2'-пирроло[2,1-*a*]изохинолин]-3',5(1*H*)-дионы [51–53] (схема 20).

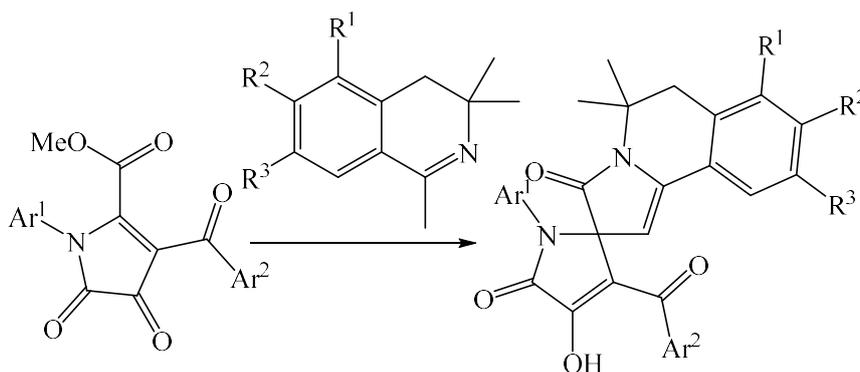


Схема 20

При взаимодействии 3-арил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 1-алкил-3,3-диметил-3,4-дигидроизохинолинами вследствие нуклеофильной атаки группами  $\beta$ -СН и NH енаминной формы изохинолинов

атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  образуются 3-арил-1-(2-гидроксифенил)-4-гидрокси-5',5'-диметил-5',6'-дигидро-3'*H*-спиро[пиррол-2,2'-пирроло[2,1-*a*]изохинолин]-3',5(1*H*)-дионы [54–56] (схема 21).

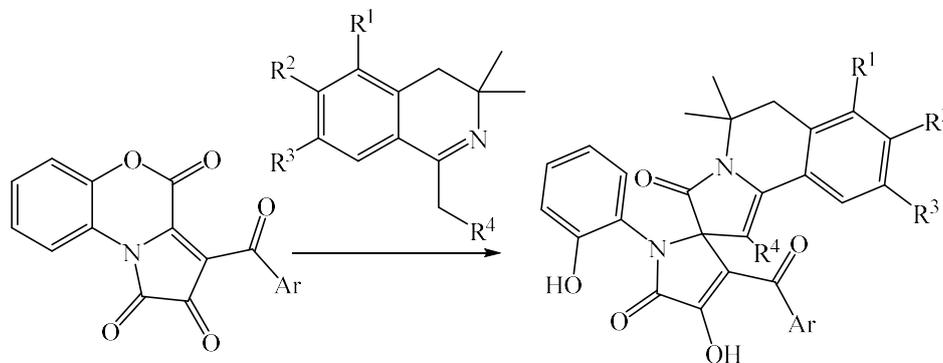


Схема 21

В некоторых случаях происходит замыкание гидроксипирролонового цикла за счет последовательного образования связей  $C^3-C^{spiro}$  и  $N^1-C^5$  вследствие атаки иминов изатина соответствующими кетоэфирами. При взаимодействии 3-(фенилимино)-1*H*-инден-2(3*H*)-она и метил 3-

оксопропаноата вследствие нуклеофильной атаки группой  $\beta$ -СН енольной формы оксопропаноата атома  $C^3$  инденона с последующей внутримолекулярной циклизацией образуются 3'-ацил-4'-гидрокси-1'-фенилспиро[индолин-3,2'-пиррол]-2,5'(1'*H*)-дионы [57] (схема 22).

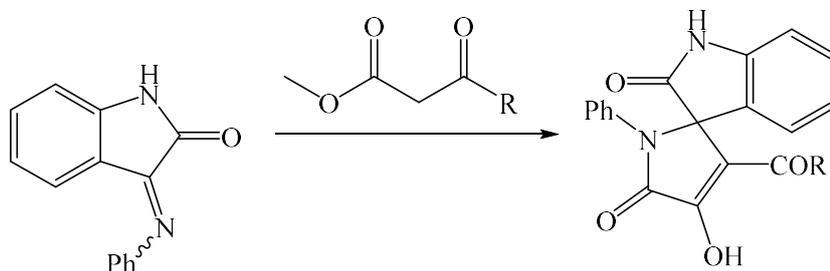


Схема 22

В трехкомпонентной реакции индолов, диметилацетилендикарбоксилата и анилинов по схеме, близкой к вышеописанной, образуются

метил 4'-гидрокси-2,5'-диоксо-1'-арил-1',5'-дигидроспиро[индолин-3,2'-пиррол]-3'-карбоксилаты [58, 59] (схема 23).

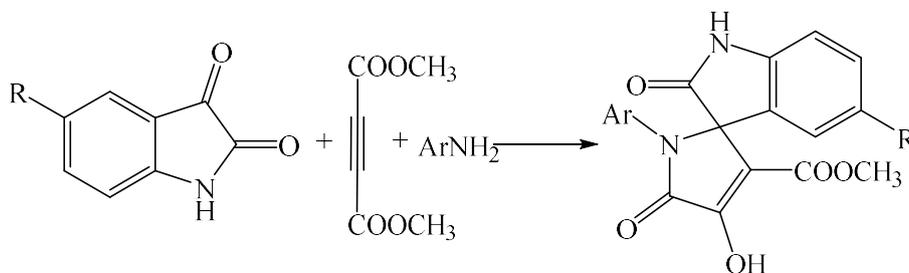


Схема 23

В трехкомпонентной реакции изатинов, алкил 2-оксопропаноатов и монозамещенных аминов вследствие, по мнению авторов, перво-

начального присоединения амина к атому  $C^3$  изатина и последующей нуклеофильной атаки группой  $\beta$ -СН енольной формы оксопропа-

ноата атома  $C^3$  иминоиндолинона с последующей внутримолекулярной циклизацией, обра-

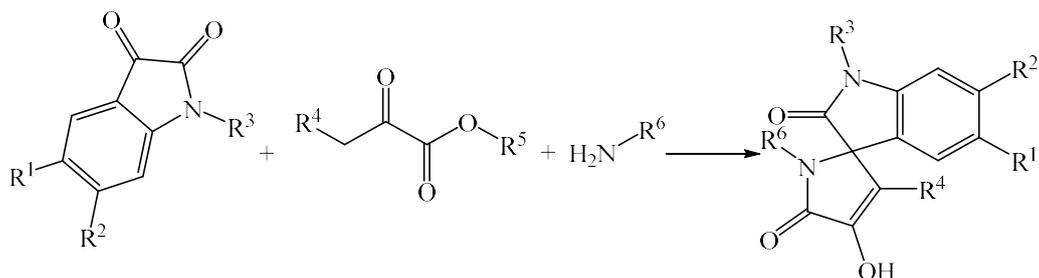


Схема 24

### Образование спиро[пиррол-2,5'-имидазол]-5-онов

В литературе описаны 8 примеров образования 3-гидроксипиррол-2-онов, аннелированных спиро-имидазольным циклом. Во всех случаях происходит надстройка 3-гидроксипиррол-2-онов спиро-имидазольным циклом за счет последовательного образования связей  $N^1-C^{spiro}$  и  $N^3-C(=O)-C^{spiro}$  имидазольного кольца вследствие атаки соответствующего 1,3-NH,NH-

зуются 4'-гидроксиспиро[индолин-3,2'-пиррол]-2,5'(1'-H)-дионы [60–63] (схема 24).

бинуклеофила моноциклических 1H-пиррол-2,3-дионов и гетерено[e]пиррол-2,3-дионов.

При взаимодействии 5-алкоксикарбонил-1-арил-4-ацил-1H-пиррол-2,3-дионов с мочевины вследствие нуклеофильной атаки аминогруппами мочевины атома  $C^5$  и группы COOAlk пирролдионов с отщеплением молекулы спирта образуются 6-арил-9-ацил-8-гидрокси-1,3,6-триазаспиро[4.4]нон-8-ен-2,4,7-трионы [64, 65] (схема 25).

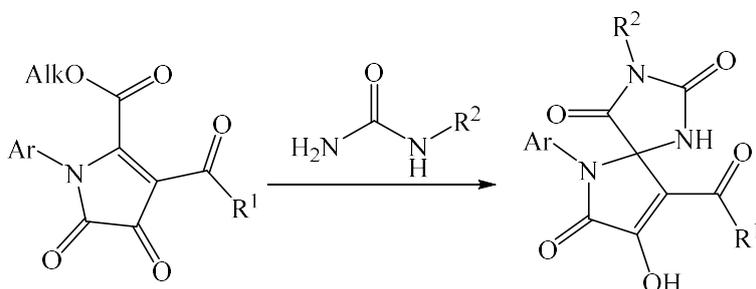


Схема 25

При взаимодействии 3-ацил-1H-пирроло[2,1-c][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с тиомочевинами вследствие нуклеофильной атаки аминогруппами тиомочевин атомов  $C^{3a}$  и

$C^4$  пирролобензоксазинтриона с расщеплением связи  $C^4-O^5$  образуются 9-ацил-8-гидрокси-6-(2-гидроксифенил)-2-тиоксо-1,3,6-триазаспиро[4.4]нон-8-ен-4,7-дионы [66, 67] (схема 26).

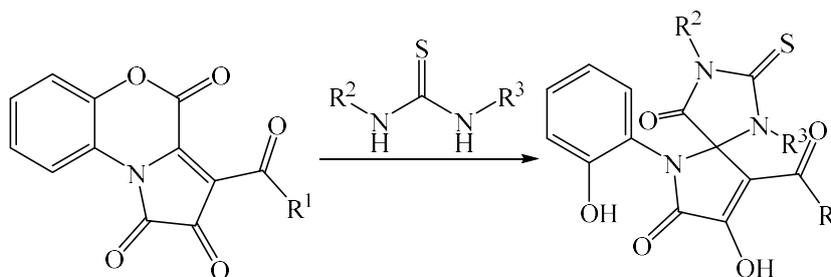


Схема 26

При взаимодействии 1-арил-4-арил-5-метокси-карбонил-1H-пиррол-2,3-дионов с дифенилгуа-

нидином вследствие нуклеофильной атаки аминогруппами гуанидина атома  $C^5$  и группы

COOMe пирролдиона с отщеплением молекулы метанола образуются 6-арил-9-ароил-8-гидро-

кси-2-имино-1,3-дифенил-1,3,6-триазаспиро [4.4]нон-8-ен-4,7-дионы [68, 69] (схема 27).

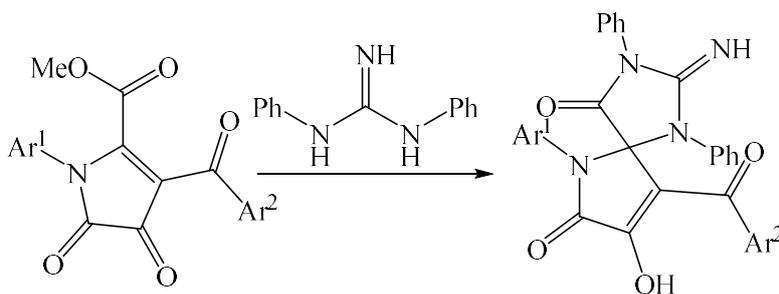


Схема 27

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с дифенилгуанидином вследствие нуклеофильной атаки аминогруппами гуанидина атомов C<sup>3a</sup> и C<sup>4</sup> пирролобензоксазинтриона с расщеплением связи C<sup>4</sup>-O<sup>5</sup> образуются 9-ароил-6-(2-

гидроксифенил)-8-гидрокси-2-имино-1,3-дифенил-1,3,6-триазаспиро[4.4]нон-8-ен-4,7-дионы и 9-ароил-6-(2-гидроксифенил)-2-имино-4,7-диоксо-1,3-дифенил-1,3,6-триазаспиро[4.4]нон-8-ен-8-олаты [70, 71] (схема 28).

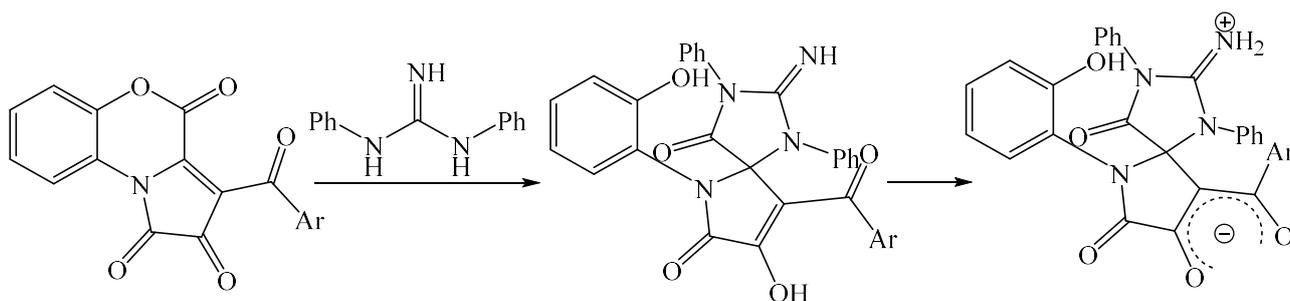


Схема 28

### Образование

#### спиро[пиррол-2,5'-тиазол]-5-онов

В литературе описаны 8 примеров образования 3-гидрокси-пиррол-2-онов, аннелированных спиро-тиазольным циклом. В большинстве случаев происходит надстройка 3-гидрокси-пиррол-2-онов спиро-тиазольным циклом за счет последовательного образования связей S-C<sup>spiro</sup> и N<sup>3</sup>-C(=O)-C<sup>spiro</sup> тиазольного кольца вследствие атаки соответствующего 1,3-SH, NH-

бинуклеофила гетерено[*e*]пиррол-2,3-дионов. При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с тиобензамидом вследствие последовательной нуклеофильной атаки меркапто- и аминогруппой тиолиמידной формы тиобензамида атомов C<sup>3a</sup> и C<sup>4</sup> пирролобензоксазинтриона с разрывом связи C<sup>4</sup>-O<sup>5</sup> образуются 9-ароил-8-гидрокси-6-(2-гидроксифенил)-2-фенил-1-тиа-3,6-дiazаспиро [4.4]нон-2,8-диен-4,7-дионы [72, 73] (схема 29).

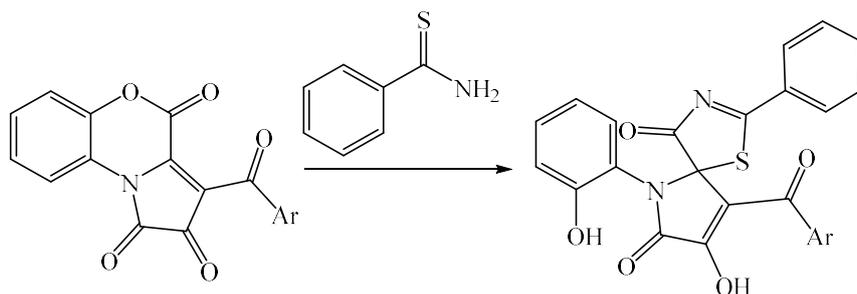


Схема 29

При взаимодействии 3-ароил-1*H*-пирроло [2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с тиоацетамидами вследствие последовательной нуклеофильной атаки меркапто- и аминогруппой тиолиимидной формы тиоацетамида атомов C<sup>3a</sup> и C<sup>4</sup> пирролобензоксазинтриона с разрывом связи C<sup>4</sup>-O<sup>5</sup> образуются 9-ароил-8-гидрокси-6-(2-гидроксифенил)-2-метилен-1-тиа-3,6-диаза-спиро[4.4]нон-8-ен-4,7-дионы. Метиленовая

группа образованного соединения может взаимодействовать с еще одной молекулой пирролобензоксазинтриона вследствие нуклеофильной атаки атома C<sup>3a</sup> пирролобензоксазинтриона с образованием 3-ароил-3<sup>a</sup>-((9-ароил-8-гидрокси-6-(2-гидроксифенил)-4,7-диоксо-1-тиа-3,6-диаза-спиро[4.4]нон-8-ен-2-илиден) метил)-2-гидрокси-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4] бензоксазин-1,4(3<sup>a</sup>*H*)-дионов [74] (схема 30).

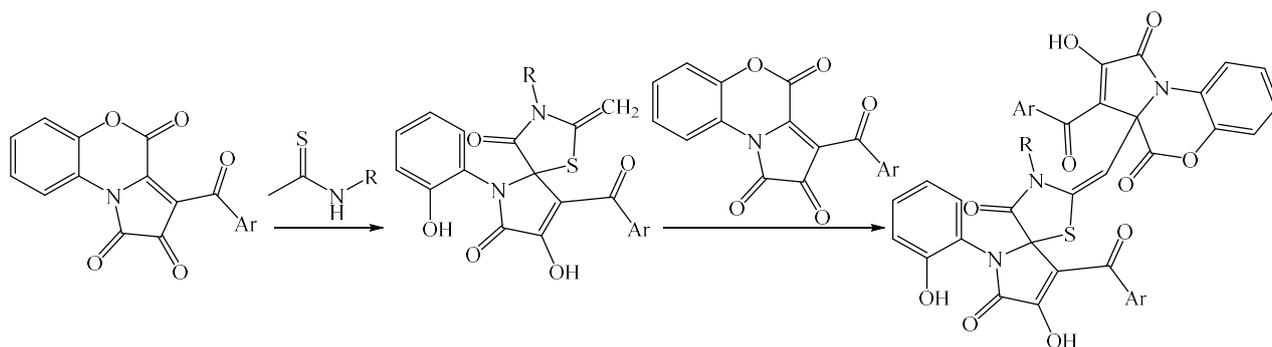


Схема 30

При взаимодействии 3-ацил-1*H*-пирроло [2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с тиомочевинами или с тиосемикарбазами вследствие последовательной нуклеофильной атаки меркапто- и аминогруппой тиолиимидной фор-

мы тиомочевин атомов C<sup>3a</sup> и C<sup>4</sup> пирролобензоксазинтриона с расщеплением связи C<sup>4</sup>-O<sup>5</sup> образуются 9-ацил-8-гидрокси-6-(2-гидроксифенил)-2-имино-1-тиа-3,6-диаза-спиро [4.4]нон-8-ен-4,7-дионы [67, 75-77] (схема 31).

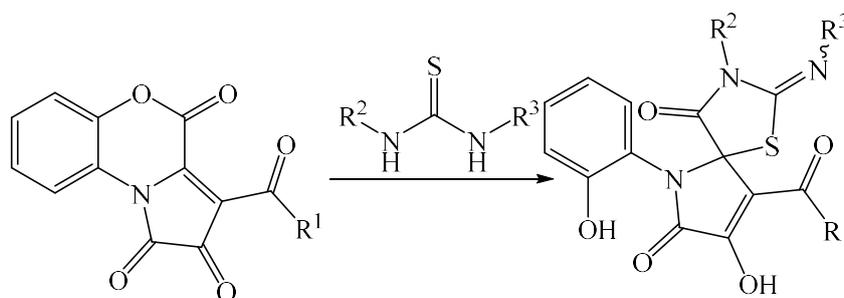


Схема 31

При взаимодействии изопропил 2-(1-арил-4,5-диоксо-2-фенил-4,5-дигидро-1*H*-пиррол-3-ил)-2-оксоацетатов с тиомочевинной, с участием

анилинов образуются 2-амино-6-арил-9-((арил-амино)(фенил)метилен)-1-тиа-3,6-диаза-спиро [4.4]нон-2-ен-4,7,8-трионы [78] (схема 32).

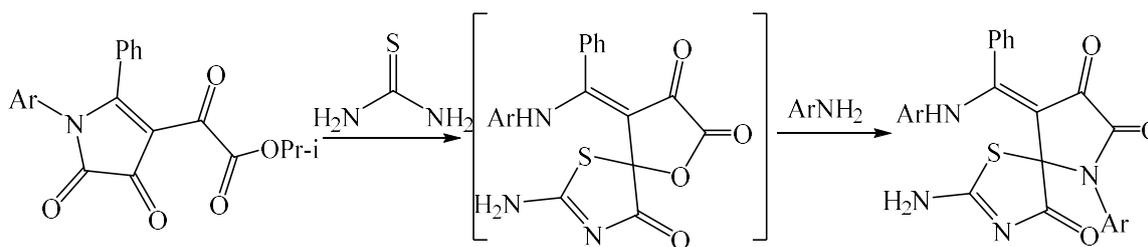


Схема 32

На последней стадии реакции происходит аминирование спирофурантиазола ариламином, образующимся в результате побочной реакции расщепления цикла исходных пирролодионов по связям  $N^1-C^2$  и  $N^1-C^5$  под действием тиомочевины [78].

**Образование  
спиро[пиррол-2,1'-циклогексан]-5-онов,  
спиро[пиррол-2,4'-пиран]-5-онов и  
спиро[пиррол-2,2'(4')-пиперидин]-5-онов**

В литературе описаны единичные примеры образования 3-гидрокси-пиррол-2-онов, аннели-

рованных спиро-циклогексановым, спиро-пирановыми спиро-пиперидиновым циклами.

Восстановлением этил 7-метил-1,2,8,9,10,11-гексагидро-6*H*-бензо[*c*]изоксазоло[2,3-*b*][1,2]оксазин-2-карбоксилата молекулярным водородом образуются 2-гидрокси-6-метил-1,2,7,8,9,10-гексагидро-3*H*,5*H*-пирроло[2,1-*i*]индол-3-он и (*Z*)-3-гидрокси-6-(1-гидроксипропан-2-илиден)-1-азаспиро[4.5]декан-2-он [79] (схема 33).

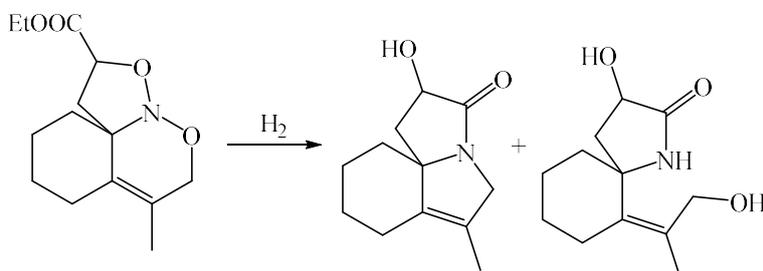


Схема 33

При взаимодействии этил 2-(4-амино-6-фторхроман-4-ил)ацетата с диэтилоксалатом в среде этилата натрия образуется этил 6-фтор-

4',5'-диоксоспиро[хроман-4,2'-пирролидин]-3'-карбоксилат [80] (схема 34).

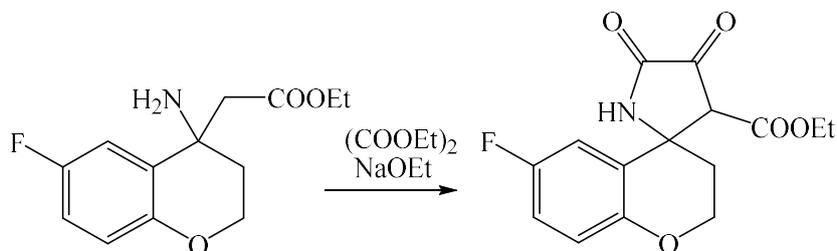


Схема 34

Гидролиз 15<sup>a</sup>-этил-9<sup>bl</sup>-гидрокси-2,3,13,14,15,15<sup>a</sup>-гексагидро-1*H*-бензо[2,3]азецино[6,5,4-*hi*]индолизин-4,11(5*H*,9<sup>bl</sup>*H*)-диона вследствие внутримолекулярной циклизации

приводит к образованию 3<sup>a</sup>-этил-12-гидрокси-1,2,3,3<sup>a</sup>,4,5,11<sup>b</sup>,12-октагидро-6*H*,13*H*-бензо[*b*]индолизино[8,1-*hi*]индолизин-6,13-диона [81–84] (схема 35).

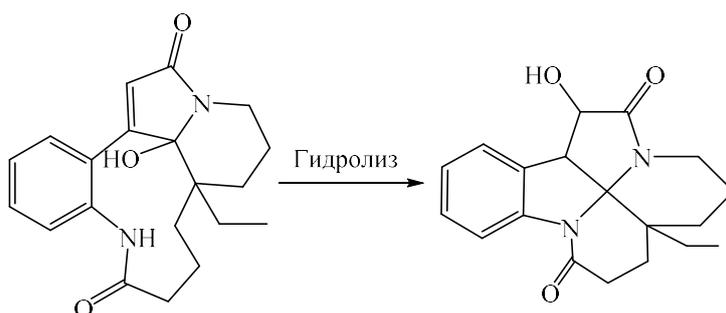


Схема 35

При взаимодействии *m*-бутил 4-амино-2-метил-4-винилпиперидин-1-карбоксилата с 2-метоксикарбиловой кислотой образуется *m*-бутил 4-(2-метоксикакриламидо)-2-метил-4-

винилпиперидин-1-карбоксилат, который циклизуется в *m*-бутил 3-метокси-7-метил-2-оксо-1,8-диазаспиро[4.5]дек-3-ен-8-карбоксилат [85] (схема 36).

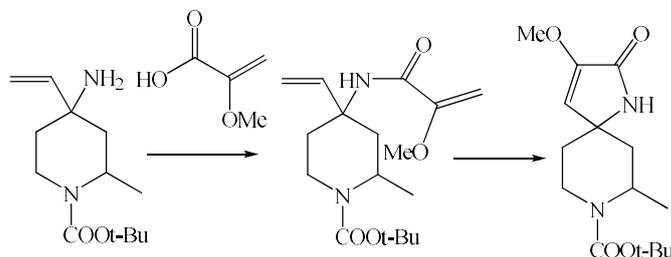


Схема 36

### Образование

#### спиро[пиррол-2,2'-пиразин]-5-онов

В литературе описаны два примера образования 3-гидроксипиррол-2-онов, аннелированных спиро-пиразиновым циклом. Во обоих случаях происходит надстройка 3-гидрокси-пиррол-2-онов спиро-пиразиновым (или спиро-хиноксалиновым) циклом за счет последовательного образования связей  $N^1-C^{spiro}$  и  $N^4-C(=O)-C^{spiro}$  пиразинового (или хиноксалинового) кольца вследствие атаки соответствующего

1,4-NH,NH-бинуклеофила гетерено[*e*]пиррол-2,3-дионов.

При взаимодействии 3-этоксикарбонил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с диаминофуразаном вследствие нуклеофильной атаки аминогруппами диаминофуразана атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  образуются 4-гидрокси-1-(2-гидроксиарил)-3-этоксикарбонил-4'*H*-спиро [пиррол-2,5'-[1,2,5]оксадиазоло[3,4-*b*]пиразин]-5,6'(1*H*,7'*H*)-дионы [86] (схема 37).

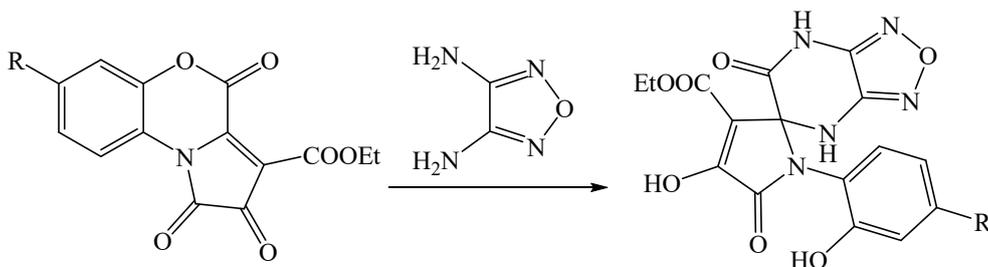


Схема 37

При взаимодействии 3-арил-1*H*-пирроло [2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с *N,N'*-дигидроксициклогексан-1,2-диамином вследствие нуклеофильной атаки аминогруппами циклогександиамина атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  образуются 3-арил-1',4,4'-тригидрокси-1-(2-

гидроксиарил)-1',4',4<sup>ar</sup>,5',6',7',8',8<sup>ar</sup>-октагидро-3'*H*-спиро[пиррол-2,2'-хиноксалин]-3',5(1*H*)-дионы, перегруппировывающиеся в 4,4'-дигидрокси-1-(2-гидроксиарил)-3',5-диоксо-1,3',4',4<sup>ar</sup>,5,5',6',7',8',8<sup>ar</sup>-декагидро-1'*H*-спиро [пиррол-2,2'-хиноксалин]-1'-ил бензоаты [87] (схема 38).

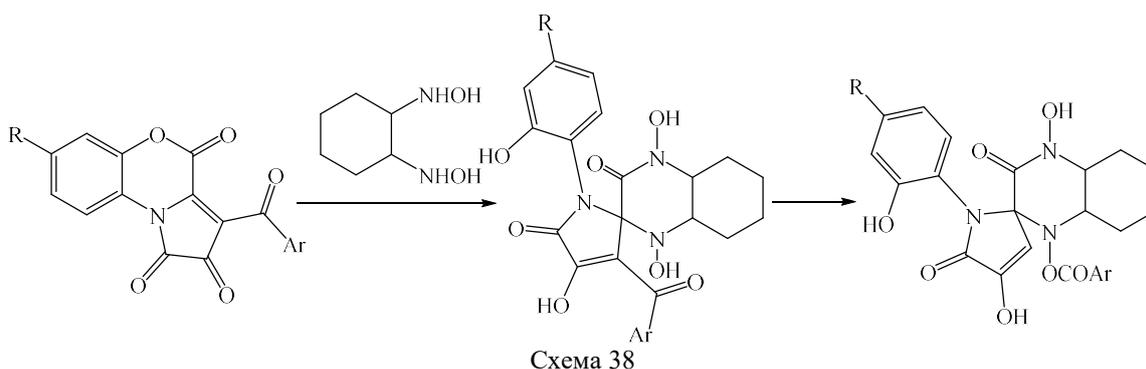


Схема 38

### Образование

#### спиро[пиррол-2,2'-тиазин]-5-онов

При взаимодействии 3-ароил-1*H*,6*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазепин-1,2,4-трионов с *o*-аминотиофенолом вследствие последовательной нуклеофильной атаки меркапто- и

аминогруппой аминотиофенола атомов  $C^{3a}$  и  $C^4$  пирролобензоксазепинтриона с разрывом связи  $C^4-O^5$  образуются 3'-ароил-4'-гидрокси-1'-(2-(гидроксиметил)фенил)спиро[бензо[*b*][1,4]тиазин-2,2'-пиррол]-3,5'(1'*H*,4*H*)-дионы [88] (схема 39).

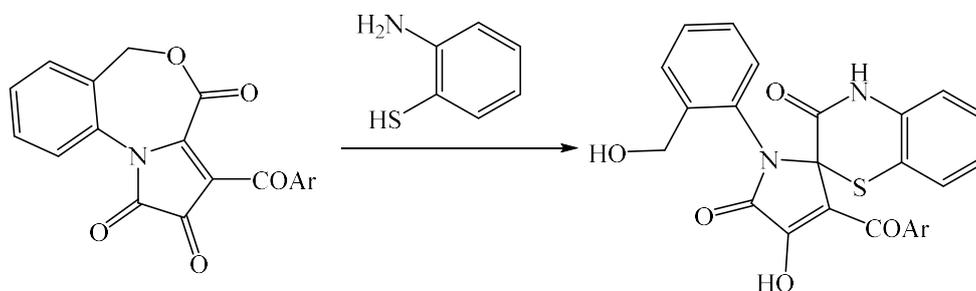


Схема 39

### Заключение

Методы образования гидроксипирролонов, аннелированных спиро-циклами, различаются по значимости. Методы, основанные на модификации имеющегося пиррольного цикла или на «надстройке» этого цикла, являются труднодоступными для применения. И наоборот, методы синтеза гидроксипирролонов, аннелированных спиро-циклами, основанные на взаимо-

действии моноциклических пирролдионов или гетеренопирролдионов с 1,3- и 1,4-бинуклеофильными реагентами представляются весьма удобными, препаративными, легко масштабируемыми.

### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект № FSNF-2023-0004).

### Список источников

1. Irlinger B., Krämer H.-J., Mayser P., Steglich W. Pityriarubins, biologically active bis(indolyl)spirans from cultures of the lipophilic yeast *Malassezia furfur* // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2004. Vol. 43, №. 9. P. 1098–1100.
2. Amrutha U., Babu B.P., Prathapan S. Metal free synthesis of 1-azaspiro[4.4]nonane-3-one system via reactions of nitrones with 1,1-disubstituted allenes // *J. Heterocyclic Chem.* 2019. Vol. 56, № 12. P. 3236–3243.
3. Рачева Н.Л., Масливец А.Н. Спиرو-гетероциклизация пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-триона под действием димедона // *Журнал органической химии.* 2007. Т. 43, № 1. С. 152–153.

4. Тутьнина Н.М., Рачева Н.Л., Масливец В.А., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы ХС1. Взаимодействие 3-ацил-1H-пирроло[2,1-с][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с димедоном. Кристаллическая и молекулярная структура замещенного спиро[1-бензофуран-3,2'-пиррола] // Журнал органической химии. 2013. Т. 49, № 1. С. 101–104.
5. Dubovtsev A. Y., Silaichev P. S., Nazarov M. A., Dmitriev M. V., Maslivets A. N., Rubin M. Spirocondensation of 5-methoxycarbonyl-1H-pyrrole-2,3-diones with cyclic enoles to form spiro substituted fu-ro[3,2-с]coumarins and quinolines // RSC Adv. 2016. Vol. 6, № 88. P. 84730–84737.
6. Дубовцев А.Ю., Дмитриев М.В., Масливец А.Н. Две стадии спиро-гетероциклизации 1H-пиррол-2,3-диона под действием карбоциклического енола // Журнал органической химии. 2019. Т. 55, № 3. С. 474–476.
7. Stepanova E., Maslivets A., Kasatkina S., Dmitriev M. Diversity-oriented Synthesis via Catalyst-free Addition of Ketones to [e]-Fused 1H-Pyrrole-2,3-diones // Synthesis. 2018. Vol. 50, №. 24. P. 4897–4904.
8. Тутьнина Н.М., Масливец В.А., Масливец А.Н. Spiro-гетероциклизация 3-ацилпирроло[1,2-с][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов под действием тетрагидрохинолина // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 3. С. 461–462.
9. Тутьнина Н.М., Масливец В.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. СII. Spiro-гетероциклизация 3-ароилпирроло[2,1-с][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов под действием тетрагидрохинолина // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 6. С. 857–859.
10. Бабеньшева А.В., Масливец А.Н. Spiro-бисгетероциклизация гетерено[а]пиррол-2,3-дионов при действии N-алкиланилинов // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 9. С. 1418–1419.
11. Банникова Ю.Н., Масливец А.Н. Spiro-бис-гетероциклизация 5-метоксикарбонил-2,3-дигидро-2,3-пирролдионов под действием ациклических енаминов // Журнал органической химии. 2005. Т. 41, № 11. С. 1748–1749.
12. Банникова Ю.Н., Халтурина В.В., Седегова Е.А., Масливец А.Н. Spiro-бисгетероциклизация 5-метоксикарбонил-1H-пиррол-2,3-дионов под действием ациклических енаминокетонов // Журнал органической химии. 2007. Т. 43. № 1. С. 148-149.
13. Банникова Ю.Н., Седегова Е.А., Халтурина В.В., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LV. Взаимодействие метил 1-арил-3-ароил-4,5-диоксо-4,5-дигидро-1H-пиррол-2-карбоксилатов с этил 3-анилинобут-2-еноатами // Журнал органической химии. 2007. Т. 43, № 9. С. 1343–1345.
14. Силайчев П.С., Чудинова М.А., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы ХС. Взаимодействие 4,5-бис(метоксикарбонил)-1H-пиррол-2,3-дионов с енаминоэфиром. Кристаллическая и молекулярная структура 4-метил 9-этил 7-бензил-3-гидрокси-8-метил-1-(4-метоксифенил)-2,6-диоксо-1,7-диазаспиро[4.4]нона-3,8-диен-4,9-дикарбоксилата // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 11. С. 1445–1448.
15. Силайчев П.С., Кудреватых Н.В., Масливец А.Н. Spiro-гетероциклизация 4,5-диароил-1H-пиррол-2,3-дионов под действием ациклического енамина // Журнал органической химии. 2011. Т. 47, № 10. С. 1527–1573.

16. Силайчев П.С., Филимонов В.О., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LXXXIX. Взаимодействие 5-метоксикарбонил-4-циннамоил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с (*E*)-4-ариламинопент-3-ен-2-онами. Кристаллическая и молекулярная структура 9-ацетил-3-гидрокси-8-метил-1-(4-метоксифенил)-7-фенил-4-циннамоил-1,7-диаза Spiro[4.4]нона-3,8-диен-2,6-диона // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 10. С. 1334–1337.
17. Силайчев П.С., Кудреватых Н.В., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы XCIII. Spiro-гетероциклизация 4,5-диароил-1*H*-пиррол-2,3-дионов под действием ациклического енамина. Кристаллическая и молекулярная структура замещенного 1,7-диаза Spiro[4.4]нонана // Журнал органической химии. 2013. Т. 49, № 6. С. 876–879.
18. Силайчев П.С., Филимонов В.О., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. С. (?) Взаимодействие 5-метоксикарбонил-4-циннамоил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с ациклическими енаминами // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 3. С. 416–420.
19. Денисламова Е.С., Дубовцев А.Ю., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. CV. Взаимодействие 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с метил 2-ариламино-4-(2-нафтил)-4-оксо-2-бутеноатами. Кристаллическая и молекулярная структура замещенного 1,7-диаза Spiro[4.4]нонана // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 7. С. 1034–1037.
20. Дубовцев А.Ю., Денисламова Е.С., Дмитриев М.В., Масливец А.Н. Spiroбисгетероциклизация 5-(метоксикарбонил)-1*H*-пиррол-2,3-дионов под действием енаминоэфиров. Кристаллическая и молекулярная структура 1,7-диаза Spiro[4.4]нонана // Журнал органической химии. 2016. Т. 52, № 5. С. 718–722.
21. Силайчев П.С., Степанян Ю.Г., Кудреватых Н.В., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. CIII. Spiro-бисгетероциклизация 4,5-диароил-1*H*-пиррол-2,3-дионов под действием нитрила 3-аминобут-2-еновой кислоты // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 6. С. 860–862.
22. Рачева Н.Л., Масливец А.Н. Spiro-рециклизация пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов под действием ациклических енаминов // Журнал органической химии. 2006. Т. 42, № 3. С. 463–464.
23. Рачева Н.Л., Белова М.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LVI\*. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с ациклическими енаминокетонами // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 4. С. 587–591.
24. Рачева Н.Л., Алиев З.Г., Белова М.А., Машевская И.В., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LIX. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с ациклическими  $\beta$ -енаминоэфирами. Кристаллическая и молекулярная структура этил 3-бензоил-4-гидрокси-1-*o*-гидроксифенил-5-оксо-2,3-дигидро-1*H*-пирроло-2-спиро-3'-(5-метил-2-оксо-2,3-дигидро-1*H*-пирроло-4-карбоксилата) // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 5. С. 710–713.
25. Рачева Н.Л., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Необычная реакция пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-триона с  $\alpha$ -енаминоэфиром // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 7. С. 1103–1104.

26. Рачева Н.Л., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LXI. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с  $\alpha$ -енаминоэфирами. Кристаллическая и молекулярная структура метил 11-бензоил-2-*o*-гидроксифенил-3,4,10-триоксо-6,9-дифенил-7-окса-2,9-дiazатрицикло[6.2.1.0<sup>1,5</sup>]ундец-5-ен-8-карбоксилата // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 8. С. 1197–1201.
27. Коновалова В.В., Шкляев Ю.В., Масливец А.Н. Синтез бис-спиро-гетероаналогов пирролизидиновых алкалоидов // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 9. С. 1257–1258.
28. Коновалова В.В., Стряпунина О.Г., Шкляев Ю.В., Масливец А.Н. Синтез мостиковых аналогов пирролизидиновых алкалоидов // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 11. С. 1515–1516.
29. Коновалова В.В., Стряпунина О.Г., Шкляев Ю.В., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклыXСII. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с замещенным спиро-гетероциклическим енамином. Синтез мостиковых аналогов пирролизидиновых алкалоидов // Журнал органической химии. 2013. Т. 49, № 2. С. 276–279.
30. Konovalova V.V., Rozhkova Y.S., Shklyayev Y.V., Slepukhin P.A., Maslivets A.N. Synthesis of dispiro heteroanalogs of pyrrolizidine alkaloids: crystal and molecular structure of substituted 3',4'',5-trioxodispiro[(2'',5''-cyclohexadiene)-1''(4''*H*),7'-[7*H*]pyrrolizine-2'(3'*H*),2-[2*H*]pyrrole]-1'-carboxamide// Arkivoc. 2014. Vol. 4. P. 124–134.
31. Банникова Ю.Н., Масливец А.Н. Spiро-бисгетероциклизация 5-метоксикарбонил-2,3-дигидро-2,3-пирролдионов при обработке активированными енаминами // Химия гетероциклических соединений. 2004. Т. 40, № 1. С. 124–126.
32. Банникова Ю.Н., Масливец А.Н., Алиев З.Г. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы XLIX. Взаимодействие 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-2,3-дигидро-2,3-пирролдионов с N-замещенными 3-амино-5,5-диметил-2-циклогексен-1-онами // Журнал органической химии. 2004. Т. 40, № 12. С. 1840–1845.
33. Банникова Ю.Н., Масливец А.Н., Алиев З.Г. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LIV. Двойная спиро-бис-гетероциклизация метил 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов под действием 3-анилино-5,5-диметилциклогекс-2-ен-1-онов // Журнал органической химии. 2007. Т. 43, № 9. С. 1339–1342.
34. Денисламова Е.С., Масливец А.Н., Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы: LXVIII. Три пути взаимодействия метил 3-ароил-1-арил-4,5-диоксо-4,5-дигидро-1*H*-пиррол-2-карбоксилатов с 3-амино-5,5-диметилциклогекс-2-ен-1-онами // Журнал органической химии. 2010. Т. 46, № 3. С. 396–400.
35. Силайчев П.С., Чудинова М.А., Масливец А.Н. Spiро-бис-гетероциклизация 4,5-бис(метоксикарбонил)-1*H*-пиррол-2,3-диона под действием карбоциклического енамина // Журнал органической химии. 2011. Т. 47, № 10. С. 1570–1571.
36. Силайчев П.С., Чудинова М.А., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклыLXXXI.\* Взаимодействие 4,5-бис(метоксикарбонил)-1*H*-пиррол-2,3-дионов с N-замещенными 3-амино-5,5-диметил-2-циклогекс-2-ен-1-онами. Кристаллическая и молекулярная структура метил 4'-гидрокси-6,6-диметил-1,1'-бис(4-метилфенил)-2,4,5'-триоксо-1,1',2,4,5,5',6,7-

октагидроспиро[индол-3,2'-пиррол]-3'-карбоксилата // Журнал органической химии. 2011. Т. 47, № 11. С. 1682–1686.

37. Силайчев П.С., Филимонов В.О., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LXXXV.\* Синтез 5-метоксикарбонил-4-циннамоил-1*H*-пиррол-2,3-дионов и их взаимодействие с 3-амино-5,5-диметилциклогекс-2-ен-1-онами. Кристаллическая и молекулярная структура 4'-гидрокси-6,6-диметил-1'-(4-метоксифенил)-1-фенил-3'-циннамоил-6,7-дигидроспиро[индол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1*H*,1'*H*,5*H*)-триона // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 4. С. 563–567.

38. Денисламова Е.С., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Пятичленные диоксогетероциклы. CIV. Взаимодействие 5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов с циклическими энгидразинами. Кристаллическая и молекулярная структура замещенного N-(спиро[индол-3,2'-пиррол]1-ил)бензамида // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 7. С. 1029–1033.

39. Dubovtsev A.Y., Dmitriev M. V., Maslivets A. N., Rubin M. Regiodivergent condensation of 5-alkoxycarbonyl-1*H*-pyrrol-2,3-diones with cyclic ketazinones en route to spirocyclic scaffolds // Beil. J. Org. Chem. 2017. Vol. 13, № 1. P. 2179–2185.

40. Машевская И.В., Толмачева И.А., Туунова О.Ю., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Рециклизация пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов под действием активированного енамина // Химия гетероциклических соединений. 2002. Т. 38, № 4. С. 565–566.

41. Машевская И.В., Дувалов А.В., Толмачева И.А., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы: XLVIII. Взаимодействие 3-ароил- и 3-гетероил-2,4-дигидро-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 3-амино-5,5-диметил-2-циклогексеноном // Журнал органической химии. 2004. Т. 40, № 9. С. 1405–1409.

42. Рачева Н.Л., Шууров С.Н., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LI. Взаимодействие 3-ароил-2,4-дигидро-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 3-амино-5,5-диметил-2-циклогексен-1-онами // Журнал органической химии. 2007. Т. 43, № 1. С. 103–110.

43. Рачева Н.Л., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Пятичленные-2,3-диоксогетероциклы. LX. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с циклическими энгидразинокетонами. Кристаллическая и молекулярная структура 1-*m*-нитробензоиламино-6,6-диметил-2,4-диоксо-2,3,4,5,6,7-гексагидро-1*H*-индол-3-спиро-2'-(3'-бензоил-4'-гидрокси-1'-*o*-гидроксифенил-5'-оксо-2',5'-дигидро-1'*H*-пиррола) // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 6. С. 848–851.

44. Рачева Н.Л., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Spiro-гетероциклизация пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-триона под действием циклического энгидразина // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 6. С. 943–944.

45. Червяков А.В., Дмитриев М.В., Масливец А.Н. Синтез спиро[индол-3,2'-пирролов] из пирролопипразинтрионов и аминокциклогексенонов // Журнал органической химии. 2018. Т. 54, № 6. С. 943–945.

46. Денисламова Е.С., Бубнов Н.В., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LXXVI.\* Взаимодействие 1-арил-4-бензоил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол- 2,3-дионон с 6-амино-1,3-диметилпиримидин-2,4(1*H*,3*H*)-дионом // Журнал органической химии. 2011. Т. 47, № 6. С. 33–34.
47. Силайчев П.С., Масливец А.Н. Spiro-гетероциклизация 4,5-диароил-1*H*-пиррол-2,3-дионон под действием гетероциклического енамина // Журнал органической химии. 2013. Т. 49, № 6. С. 958–959.
48. Бубнов Н.В., Денисламова Е.С., Алиев З.Г., Масливец А.Н. Прямая Spiro-гетероциклизация метил 2,3-диоксо-1*H*-пиррол-5-карбоксилата при действии 3-амино-1*H*-инден-1-она // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 3. С. 465–466.
49. Бубнов Н.В., Денисламова Е.С., Силайчев П.С., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы LXXXVI. Spiro-гетероциклизация 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионон под действием 3-ариламино-1*H*-инден-1-онон. Кристаллическая и молекулярная структура 4'-гидрокси-3'-(2,4-диметилбензоил)-1,1'-дифенил-1*H*-спиро[индено[1,2-*b*]пиррол-3,2'-пиррол]-2,4,5'(1'*H*)-триона // Журнал органической химии. 2012. Т. 48, № 5. С. 697–700.
50. Silaichev P., Filimonov V., Slepukhin P., Maslivets A. Spiroheterocyclization of Methyl 1-Aryl-3-cinnamoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1*H*-pyrrole-2-carboxylates by the Action of 3-(Arylamino)-1*H*-inden-1-ones // Molecules. 2012. Vol. 17, № 12. P. 13787–13794.
51. Bannikova Y.N., Maslivets A.N., Rozhkova Y.S., Shklyaev Y.V., Aliev Z.G. Spiro heterocyclization of 5-methoxycarbonyl-2,3-dihydro-2,3-pyrrolediones by reaction with 1-methyl-3,4-dihydroisoquinoline // Mendeleev Commun. 2005. Vol. 4, № 15. P. 158–159.
52. Банникова Ю.Н., Рожкова Ю.С., Шкляев Ю.В., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LVIII. Взаимодействию метил 1-арил-3-ароил-4,5-диоксо-4,5-дигидро-1*H*-пиррол-2-карбоксилатов с замещенными 1-метил-3,4-дигидроизохинолинами. Новый подход к синтезу 13-азааналогов стероидов // Журнал органической химии. 2008. Т. 44, № 5. С. 706–708.
53. Денисламова Е.С., Шкляев Ю.В., Махмудов Р.Р., Масливец А.Н. Синтез анальгетическая активность 1-арил-3-ароил-4-гидрокси-5',5'-диметил-8',9'-диэтокси-5',6'-дигидро-3'*H*-спиро {пиррол-2,2'-пирроло[2,1-*a*]изохинолин}-3',5(1*H*)-дионон // Химико-фармацевтический журнал. 2012. Т. 46, № 9. С. 31–32.
54. Mashevskaya I.V., Duvalov A.V., Rozhkova Y.S., Shklyaev Y.V., Rachev N.L., Bozdyrev K.S., Maslivets, A.N. Spiro heterocyclization of pyrrolo[2,1-*c*][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones under the action of 1,3,3-trimethyl-3,4-dihydroisoquinoline // Mendeleev Commun. 2004. Vol. 14, № 2. P. 75–76.
55. Рачева Н.Л., Шкляев Ю.В., Рожкова Ю.С., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LIII. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионон с замещенными 1-метил-3,4-дигидроизохинолинами. Новый подход к синтезу 13-азааналогов стероидов // Журнал органической химии. 2007. Т. 43, № 9. С. 1335–1338.
56. Коновалова В.В., Харитонова А.В., Шкляев Ю.В., Масливец А.Н. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионон с замещенными ацетамидами 3,4-дигидроизохинолинон // Журнал органической химии. 2015. Т. 51, № 11. С. 1597–1602.

57. *Afsah E.M., Etman H.A., Hamata W.S., Sayed Ahmed A.F.* A study on the condensation of  $\alpha,\gamma$ -diketoesters with Schiff bases // *Bollettino Chim.-Farm.* 1995. Vol. 134, № 10. P. 547–550.
58. *Han Y., Wu Q., Sun J., Yan C.-G.* Synthesis of the functionalized spiro[indoline-3,5'-pyrroline]-2,2'-diones via three-component reactions of arylamines, acetylenedicarboxylates, and isatins // *Tetrahedron.* 2012. Vol. 68, № 41. P. 8539–8544.
59. *Sarkar R., Mukhopadhyay C.* Admicellar catalysis in multicomponent synthesis of polysubstituted pyrrolidinones // *Tetrahedron Lett.* 2013. Vol. 54, № 28. P. 3706–3711.
60. *Выдъжак Р.Н., Панчишин С.Я.* Синтез спиропроизводных 1,2-дигидрохромено[2,3-*c*]пиррол-3,9-дионов // *Журнал общей химии.* 2011. Т. 81, № 3. С. 522–524.
61. *Wetzel S., Wilk W., Chammaa S., Sperl B., Roth A. G., Yektaoglu A., Waldmann H.A* Scaffold-Tree-Merging Strategy for Prospective Bioactivity Annotation of  $\gamma$ -Pyrones // *Angew. Chem.* 2010. Vol. 122, № 21. P. 3748–3752.
62. *Гейн В.Л. Гейн Л.Ф., Кузнецова Е.Д., Шентуха М.А., Цыплякова Е.П., Потемкин К.Д.* Трехкомпонентный синтез 1-замещенных 4-ацетил-3-гидроксиспиро[2,5-дигидропиррол-5,3'-индол]-2,2'-дионов // *Химия гетероциклических соединений.* 2008. № 5. С. 786–788.
63. *Compounds comprising 1,1',2,5'-tetrahydrospiro[indole-3,2'-pyrrole]-2,5'-dione system as inhibitors P53-MDM2 protein-protein interaction Patent WO2015/189799 / Feder M., Kalinowska I., Jaszczewska J.A., Burchard E., Lewandowski W., Bulkowska U., Mazur M., Wos K. Adamed SP. Z. O.O., 2015.*
64. *Дубовцев А.Ю., Денисламова Е.С., Силайчев П.С., Дмитриев М.В., Масливец А.Н.* Синтез спиросоединений имидазолаиз 5-алкоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионовифенилмочевины // *Химия гетероциклических соединений.* 2016. Т. 52, № 7. С. 467–472.
65. *Дубовцев А.Ю., Силайчев П.С., Железнова М.А., Алиев З.Г., Масливец А.Н.* Синтез спиро[имидазол-2,2'-пирролов] при взаимодействии 5-(алкоксикарбонил)-1*H*-пиррол-2,3-дионов с мочевиной // *Журнал органической химии.* 2016. Т. 52, № 12. С. 1788–1792.
66. *Бабеньшева А.В., Масливец В.А., Масливец А.Н.* Спиرو-гетероциклизация пирролобензоксазинтрионов под действием тиомочевины // *Журнал органической химии.* 2007. Т. 43, № 10. С. 1579–1580.
67. *Kobelev A.I., Tretyakov N.A., Stepanova E.E., Dmitriev M.V., Rubin M., Maslivets A. N.* Facile regio-divergent synthesis of spiro pyrrole-substituted pseudothiohydantoin and thiohydantoin via reaction of [e]-fused 1*H*-pyrrole-2,3-diones with thiourea // *Beil. J. Org. Chem.* 2019. Vol. 15, № 1. P. 2864–2871.
68. *Бубнов Н.В., Денисламова Е.С., Алиев З.Г., Масливец А.Н.* Спиругетероциклизация метил 3-ароил-1-арил-4,5-диоксо-4,5-дигидро-1*H*-пиррол-2-карбоксилатов под действием дифенилгуанидина // *Журнал органической химии.* 2010. Т. 46, № 12. С. 1876.
69. *Бубнов Н.В., Денисламова Е.С., Алиев З.Г., Масливец А.Н.* Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LXXV. Взаимодействие 1-арил-4-ароил-5-метоксикарбонил-1*H*-пиррол-2,3-дионов и 1,3-дифенилгуанидина. Кристаллическая и молекулярная структура 9-бензоил-8-гидрокси-2-имино-1,3-дифенил-6-(4-толил)-1,3,6-триазаспиро[4.4]нон-8-ен-4,7-диона // *Журнал органической химии.* 2011. Т. 47, № 4. С. 526–528.

70. Тутьнина Н.М., Таурова Л.Ф., Масливец А.Н. Прямая спиро-гетероциклизация пирролобензоксазинтрионов под действием дифенилгуанидина // Журнал органической химии. 2014. Т. 50, № 8. С. 1232–1233.
71. Кобелев А.И., Дмитриев М.В., Масливец А.Н. Взаимодействие пирролобензоксазинтрионов с дифенилгуанидином. Синтез замещенных спиро[имидазол-2,2'-пирролов] // Журнал органической химии. 2021. Т. 57, № 1. С. 103–108.
72. Кобелев А.И., Степанова Е.Е., Дмитриев М.В., Масливец А.Н. Синтез спиро[тиазол-5,2'-пирролов] спиро-гетероциклизацией пирролобензоксазинтрионов под действием тиобензамида // Журнал органической химии. 2016. Т. 52, № 9. С. 1372–1373.
73. Кобелев А.И., Степанова Е.Е., Дмитриев М.В., Денисламова Е.С., Масливец А.Н. Спиругетероциклизация пирролобензоксазинтрионов под действием тиобензамида. Синтез спиро[тиазол-5,2'-пирролов] // Журнал органической химии. 2018. Т. 54, № 5. С. 761–765.
74. Kobelev A.I., Stepanova E.E., Dmitriev M.V., Maslivets A.N. Annulation of 1*H*-pyrrole-2,3-diones by thioacetamide: an approach to 5-azaisatins // Beil. J. Org. Chem. 2019. Vol. 15, № 1. P. 364–370.
75. Лукманова Д.Н. Синтез спиро[тиазол-5,2'-пирролов] путем гетероциклизации пирролобензоксазинтрионов под действием тиосемикарбазона салицилового альдегида / Д.Н. Лукманова и др. // Журнал органической химии. 2017. Т. 53, № 12. С. 1867–1868.
76. Лукманова Д.Н., Приходько Я.И., Машевская И.В., Масливец А.Н. Синтез спиро[тиазол-5,2'-пирролов] гетероциклизацией пирролобензоксазинтрионов под действием тиосемикарбазонов ароматических альдегидов // Журнал органической химии. 2019. Т. 55, № 1. С. 149–156.
77. Лукманова Д.Н., Баландина С.Ю., Махмудов Р.Р., Машевская И.В. Антиноцицептивная и противомикробная активность продуктов взаимодействия пирролобензоксазинтрионов с тиосемикарбазонами ароматических и гетероароматических альдегидов // Химико-фармацевтический журнал. 2020. Т. 54, № 3. С. 27–31.
78. Дмитриев М.В., Силайчев П.С., Слепухин П.А., Масливец А.Н. Рециклизация 4-изопропоксалил-1*H*-пиррол-2,3-диона под действием тиомочевины // Журнал органической химии. 2011. Т. 47, № 4. С. 620–622.
79. Creech G.S., Kwon O. Tandem 6*π*-electrocyclization and cycloaddition of nitrodienes to yield multi-cyclic nitroso acetals // J. Am. Chem. Soc. 2010. Vol. 132, № 26. P. 8876–8877.
80. Mylari B.L., Beyer T.A., Siegel T.W. A highly specific aldose reductase inhibitor, ethyl 1-benzyl-3-hydroxy-2(5*H*)-окхорроле-4-карboxylate and its congeners // J. Med. Chem. 1991. Vol. 34, № 3. P. 1011.
81. Lim S.-H., Sim K.-M., Abdullah Z., Hiraku O., Hayashi M., Komiyama K., Kam T.-S. Leuconoxine, Kopsinitarine, Kopsijasmine, and Kopsinone Derivatives from *Kopsia* // J. Nat. Prod. 2007. Vol. 70, № 8. P. 1380–1383.
82. Low Y.-Y., Hong F.-J., Lim K.-H., Thomas N.F., Kam T.-S. Transformations of the 2,7-*Secoaspidosperma* alkaloid leuconolam, structure revision of *epi*-Leuconolam, and partial syntheses of leuconoxine and leuconodines A and F // J. Nat. Prod. 2014. Vol. 77, № 2. P. 327–338.

83. Gan C.-Y., Low Y.-Y., Thomas N. F., Kam T.-S. Rhazinilam–Leuconolam–Leuconoxine Alkaloids from *Leuconotis griffithii* // *J. Nat. Prod.* 2013. Vol. 76, № 5. P. 957–964.
84. Xu Z., Wang Q., Zhu J. Total Syntheses of (–)-Mersicarpine, (–)-Scholarisine G, (+)-Melodinine E, (–)-Leuconoxine, (–)-Leuconolam, (–)-Leuconodine A, (+)-Leuconodine F, and (–)-Leuconodine C: Self-Induced Diastereomeric Anisochronism (SIDA) Phenomenon for Scholarisine G and Leuconodines A and C // *J. Am. Chem. Soc.* 2015. Vol. 137, № 20. P. 6712–6724.
85. Martinez-Alsina L.A., Murray J.C., Buzon L.M., Bundesmann M.W., Young J.M., O'Neill B.T. Spiropiperidine sultam and lactam templates: diastereoselective overman rearrangement and metathesis followed by NH arylation // *J. Org. Chem.* 2017. Vol. 82, № 23. P. 12246–12256.
86. Бабеньшева А.В., Лисовская Н.А., Масливец А.Н. Spiro-бис-гетероциклизация 1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов под действием 3,4-диаминофуразана // *Журнал органической химии.* 2007. Т. 43, № 4. С. 634–635.
87. Машевская И.В., Алиев З.Г., Мажукин Д.Г., Попов С.А., Тихонов А.Я., Масливец А.Н. Пятичленные 2,3-диоксогетероциклы. LXII. Взаимодействие 3-ароил-1*H*-пирроло[2,1-*c*][1,4]бензоксазин-1,2,4-трионов с 1,2-бис(гидроксиамино)циклогексаном. Необычная перегруппировка в системе хиноксалино-спиро-пиррола // *Журнал органической химии.* 2008. Т. 44, № 8. С. 1202–1206.
88. Масливец А.А., Дмитриев М.В., Масливец А.Н. Синтез спиро[1,4-бензотиазин-2,2'-пирролов] по реакции пирроло[1,2-*c*][4,1]бензоксазепинтрионов с *o*-аминотиофенолом // *Журнал органической химии.* 2018. Т. 54, № 10. С. 1558–1560.

### Информация об авторах

**Никита Алексеевич Третьяков**, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры органической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [nik\\_tretyak@psu.ru](mailto:nik_tretyak@psu.ru).

**Андрей Николаевич Масливец**, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой органической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [koh2@psu.ru](mailto:koh2@psu.ru)

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

*Поступила 23 мая 2023 г.; принята к публикации 30 мая 2023 г.*

### References

- Irlinger, B., Kraemer, H.J., Mayser, P., & Steglich, W. (2004) "Pityriarubins, biologically active bis(indolyl)spirans from cultures of the lipophilic yeast *Malassezia furfur*", *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 43, no. 9, pp. 1098–1100.
- Amrutha, U., P. Babu, B., & Prathapan, S. (2019) "Metal free synthesis of 1-azaspiro[4.4]nonane-3-one system via reactions of nitrones with 1,1-disubstituted allenes", *Journal of Heterocyclic Chemistry*, vol. 56, no. 12, pp. 3236–3243.

3. Racheva, N.L., & Maslivets, A.N. (2007). "Spiro heterocyclization of pyrrolo[2,1-c][1,4]-benzoxazine-1,2,4-trione with dimedone", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 1, pp. 158–159. (in Russian).
4. Tutynina, N.M., Racheva, N.L., Maslivets, V.A., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2013). "Five-membered 2, 3-dioxo heterocycles: XCI. Reaction of 3-aryl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with dimedone. Crystalline and molecular structure of 3'-benzoyl-4'-hydroxy-1'-(2-hydroxyphenyl)-6,6-dimethyl-6,7-dihydrospiro[1-benzofuran-3,2'-pyrrole]-2,4,5'(1'H,5H)-trione", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 49, no. 1, pp. 95–98. (in Russian).
5. Dubovtsev, A.Y., Silaichev, P.S., Nazarov, M.A., Dmitriev, M.V., Maslivets, A.N., & Rubin, M. (2016). "Spiro-condensation of 5-methoxycarbonyl-1H-pyrrole-2,3-diones with cyclic enols to form spiro substituted furo[3,2-c]-coumarins and quinolines", *RSC advances*, vol. 6, no. 88, pp. 84730–84737.
6. Dubovtsev, A.Y., Dmitriev, M.V., & Maslivet, A.N. (2019). "Two Stages in the Spiro Heterocyclization of 1H-Pyrrole-2,3-dione with a Carbocyclic Enol", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 55, no. 3, pp. 406–408. (in Russian).
7. Stepanova, E.E., Kasatkina, S.O., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2018). "Diversity-oriented Synthesis via Catalyst-free Addition of Ketones to [e]-Fused 1H-Pyrrole-2,3-diones", *Synthesis*, vol. 50, no. 24, pp. 4897–4904.
8. Tutynina, N.M., Maslivets, V.A., & Maslivets, A.N. (2014). "Spiro heterocyclization of 3-acylpyrrolo[1,2-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with 1,2,3,4-tetrahydroquinoline", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 3, pp. 454–455. (in Russian).
9. Tutynina, N.M., Maslivets, V.A., & Maslivets, A.N. (2014). "Five-membered 2, 3-dioxo heterocycles: CII. Spiro heterocyclization of 3-arylpyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones by the action of tetrahydroquinoline", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 6, pp. 840–842. (in Russian).
10. Babenysheva, A.V., & Maslivets, A.N. (2008). "Spiro heterocyclization of hetareno[a]pyrrole-2,3-diones in reactions with N-alkylanilines", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 9, pp. 1401–1402. (in Russian).
11. Bannikova, Y.N., & Maslivets, A.N. (2005). "Spiro-bis-heterocyclization of 5-Methoxycarbonyl-2,3-dihydro-2,3-pyrrolediones Effected by Acyclic Enamines", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 41, no. 11, pp. 1714–1715. (in Russian).
12. Bannikova, Y.N., Khalturina, V.V., Sedegova, E.A., & Maslivets, A.N. (2007). "Spiro heterocyclization of methyl 4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with acyclic enamino ketones", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 1, pp. 154–155. (in Russian).
13. Bannikova, Y.N., Sedegova, E.A., Khalturina, V.V., & Maslivets, A.N. (2007). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LV. Reaction of methyl 1-aryl-3-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with ethyl 3-arylaminobut-2-enoates", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 9, pp. 1338–1341. (in Russian).
14. Silaichev, P.S., Chudinova, M.A., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2012). "Five-membered 2,3-dioxoheterocycles: XC. Reaction of 4,5-bis (methoxycarbonyl)-1H-pyrrole-2,3-diones with enaminoesters.

crystal and molecular structure of 4-methyl 9-ethyl 7-benzyl-3-hydroxy-8-methyl-1-(4-methoxyphenyl)-2,6-dioxo-1,7-diazaspiro[4.4]nona-3,8-diene-4,9-dicarboxylate”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 48, no. 11, pp. 1435–1438. (in Russian).

15. Silaichev, P.S., Kudrevatykh, N.V., & Maslivets, A.N. (2011). “Spiro heterocyclization of 4,5-diaroyl-2,3-dihydro-1H-pyrrole-2,3-diones with ethyl 3-amino-3-phenylprop-2-enoate”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 47, no. 10, pp. 1602–1603. (in Russian).

16. Silaichev, P.S., Filimonov, V.O., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2012). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXXXIX. Reaction of methyl 1-aryl-3-cinnamoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with (E)-4-arylaminopent-3-en-2-ones. Crystalline and molecular structure of 9-acetyl-4-cinnamoyl-3-hydroxy-1-(4-methoxyphenyl)-8-methyl-7-phenyl-1,7-diazaspiro[4.4]nona-3,8-diene-2,6-dione”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 48, no. 10, pp. 1329–1332. (in Russian).

17. Silaichev, P.S., Kudrevatykh, N.V., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2013). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: XCIII. Spiro heterocyclization of 4,5-diaroyl-1H-pyrrole-2,3-diones with acyclic enamine. Crystalline and molecular structure of substituted 1,7-diazaspiro[4.4]nonane”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 49, no. 6, pp. 860–863. (in Russian).

18. Silaichev, P.S., Filimonov, V.O., & Maslivets, A.N. (2014). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: C. Reaction of methyl 1-aryl-3-cinnamoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with acyclic enamines”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 3, pp. 406–411. (in Russian).

19. Denislamova, E.S., Dubovtsev, A.Y., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2014). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: CV. Reaction of methyl 1-aryl-3-aroil-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with methyl 2-aryl-amino-4-(2-naphthyl)-4-oxobut-2-enoates. Crystal and molecular structure of substituted 1,7-diazaspiro[4.4]nonane”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 7, pp. 1017–1021. (in Russian).

20. Dubovtsev, A.Y., Denislamova, E.S., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2016). “Spirobisheterocyclization of 5-(Methoxycarbonyl)-1H-pyrrol-2,3-diones by the action of enaminoesters. Crystal and molecular structure of 1,7-diazaspiro[4.4]nonane”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 52, no. 5, pp. 706–710. (in Russian).

21. Silaichev, P.S., Stepanyan, Y.G., Kudrevatykh, N.V., & Maslivets, A.N. (2014). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: CIII. Spiro heterocyclization of 4,5-diaroyl-1H-pyrrole-2,3-diones with 3-aminobut-2-enenitrile”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 6, pp. 843–845. (in Russian).

22. Racheva, N.L., & Maslivets, A.N. (2006). “Spiro recyclization of pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones by the action of acyclic enamines”, *Russian journal of organic chemistry*, vol. 42, no. 3, pp. 451–452. (in Russian).

23. Racheva, N.L., Belova, M.A., & Maslivets, A.N. (2008). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LVI. Reaction of 3-aroil-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with acyclic enamino ketones”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 4, pp. 582–586. (in Russian).

24. Racheva, N.L., Aliev, Z.G., Belova, M.A., Mashevskaya, I.V., & Maslivets, A.N. (2008). “Five-membered 2,3-Dioxoheterocycles: LIX. Reaction of 3-Aroil-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4] benzoxazine-1,2,4-

triones with Acyclic  $\beta$ -Enaminoesters. Crystal and Molecular Structure of Ethyl 3-Benzoyl-4-hydroxy-1-o-hydroxyphenyl-5-oxo-2,3-dihydro-1H-pyrrolo-2-spiro-3'-(5-methyl-2-oxo-2,3-dihydro-1H-pyrrolo-4-carboxylate)", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 5, pp. 701–705. (in Russian).

25. Racheva, N.L., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2008). "Uncommon reaction of pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-trione with  $\alpha$ -enaminoester", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 7, pp. 1094–1095. (in Russian).

26. Racheva, N.L., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2008). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXI. Reaction of 3-aryl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with  $\alpha$ -enamino esters. Crystalline and molecular structure of methyl 11-benzoyl-2-o-hydroxyphenyl-3,4,10-trioxo-6,9-diphenyl-7-oxa-2,9-diazatricyclo[6.2.1.0<sup>1,5</sup>]undec-5-ene-8-carboxylate", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 8, pp. 1184–1188. (in Russian).

27. Konovalova, V.V., Shklyayev, Y.V., & Maslivets, A.N. (2012). "Synthesis of dispiro hetero analogs of pyrrolizidine alkaloids", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 9, pp. 1257–1258. (in Russian).

28. Konovalova, V.V., Stryapunina, O.G., Shklyayev, Y.V., & Maslivets, A.N. (2012). "Synthesis of bridging analogs of pyrrolizidine alkaloids", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 48, no. 11, pp. 1493–1494. (in Russian).

29. Konovalova, V.V., Stryapunina, O.G., Shklyayev, Y.V., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2013). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: XCII. Reaction of 3-aryl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with ethyl (2Z)-(3,3-dimethyl-8-oxo-2-azaspiro[4.5]deca-6,9-dien-1-ylidene)ethanoate. Synthesis of bridged analogs of pyrrolizidine alkaloids", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 49, no. 2, pp. 268–271. (in Russian).

30. Konovalova, V.V., Rozhkova, Y.S., Shklyayev, Y.V., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2014). "Synthesis of dispiro heteroanalog of pyrrolizidine alkaloids: crystal and molecular structure of substituted 3',4'',5-trioxodispiro[(2'',5''-cyclohexadiene)-1''(4''H),7'-[7H]pyrrolizine-2'(3'H),2-[2H]pyrrole]-1'-carboxamide", *Arkivoc*, vol. 4, pp. 124–134.

31. Bannikova, Y.N., & Maslivets, A.N. (2004). "Spiro-bisheterocyclization of 5-Methoxycarbonyl-2,3-dihydro-2,3-pyrrolediones when Treated with Activated Enamines", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 40, no. 1, pp. 118–119. (in Russian).

32. Bannikova, Y.N., Maslivets, A.N., & Aliev, Z.G. (2004). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: XLIX. Reaction of methyl 1-aryl-3-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with N-substituted 3-amino-5,5-dimethyl-2-cyclohexenones", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 40, no. 12, pp. 1791–1797. (in Russian).

33. Bannikova, Y.N., Maslivets, A.N., & Aliev, Z.G. (2007). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LIV. Double spiro heterocyclization of methyl 1-aryl-3-benzoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with 3-arylamino-5,5-dimethylcyclohex-2-en-1-ones", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 9, pp. 1334–1337. (in Russian).

34. Denislamova, E.S., & Maslivets, A.N. (2010). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXVIII. Three pathways in the reaction of methyl 3-aryl-1-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with 3-amino-5,5-dimethylcyclohex-2-en-1-one", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 46, no. 3, pp. 389–393. (in Russian).
35. Silaichev, P.S., Chudinova, M.A., & Maslivets, A.N. (2011). "Spiro heterocyclization of dimethyl 1-(4-methylphenyl)-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2,3-dicarboxylate by the action of 3-arylamino-5,5-dimethylcyclohex-2-en-1-ones", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 47, no. 10, pp. 1600–1601. (in Russian).
36. Silaichev, P.S., Chudinova, M.A., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2011). "Five-membered 2,3-dioxoheterocycles: LXXXI. Reactions of 4,5-bis(methoxycarbonyl)-1H-pyrrole-2,3-diones with N-substituted 3-amino-5,5-dimethyl-2-cyclohex-2-en-1-ones. crystal and molecular structure of methyl 4'-hydroxy-6,6-dimethyl-1,1'-bis(4-methylphenyl)-2,4,5'-trioxo-1,1',2,4,5,5',6,7-octahydrospiro[indole-3,2'-pyrrole]-3'-carboxylate", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 47, no. 11, pp. 1718–1722. (in Russian).
37. Silaichev, P.S., Filimonov, V.O., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2012). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXXXV. Synthesis of methyl 1-aryl-4,5-dioxo-3-(1-oxo-3-phenylprop-2-en-1-yl)-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates and their reaction with 3-amino-5,5-dimethylcyclohex-2-en-1-ones. Molecular and crystalline structure of 4'-hydroxy-1'-(4-methoxyphenyl)-6,6-dimethyl-3'-(1-oxo-3-phenylprop-2-en-1-yl)-1-phenyl-6,7-dihydrospiro[indole-3,2'-pyrrole]-2,4,5'(1H,1'H,5H)-trione", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 48, no. 4, pp. 561–565. (in Russian).
38. Denislamova, E.S., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2014). "Five-membered dioxo heterocycles: CIV. Reaction of methyl 1-aryl-3-benzoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with cyclic enehydrazines. Crystal and molecular structure of N-[3'-benzoyl-1'-(4-chlorophenyl)-4'-hydroxy-6,6-dimethyl-2,4,5'-trioxo-1',4,5,5',6,7-hexahydrospiro-[indole-3,2'-pyrrol]-1(2H)-yl]benzamide", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 7, pp. 1012–1016. (in Russian).
39. Dubovtsev, A.Y., Dmitriev, M.V., Maslivets, A.N., & Rubin, M. (2017). "Regiodivergent condensation of 5-alkoxycarbonyl-1H-pyrrol-2,3-diones with cyclic ketazinones en route to spirocyclic scaffolds", *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, vol. 13, no. 1, pp. 2179–2185.
40. Mashevskaya, I.V., Tolmacheva, I.A., Tiunova, O.Y., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2002). "Recyclization of pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones by the action of an activated enamine", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 38, no. 4, pp. 500–501. (in Russian).
41. Mashevskaya, I.V., Duvalov, A.V., Tolmacheva, I.A., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2004). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: XLVIII. Reaction of 3-aryl- and 3-heteroaryl-2,4-dihydro-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]-benzoxazine-1,2,4-triones with 3-amino-5,5-dimethyl-2-cyclohexenone", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 40, no. 9, pp. 1359–1363. (in Russian).
42. Racheva, N.L., Shurov, S.N., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2007). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LI. Reaction of 3-aryl-2,4-dihydro-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with 3-

amino-5,5-dimethylcyclohex-2-en-1-ones”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 1, pp. 108–116. (in Russian).

43. Racheva, N.L., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2008). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LX. Reaction of 3-aryl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with cyclic enehydrazino ketones. Crystalline and molecular structure of N-[3'-benzoyl-4'-hydroxy-1'-(2-hydroxyphenyl)-6,6-dimethyl-2,4,5'-trioxo-1',4,5,5',6,7-hexahydrospiro[indole-3,2'-pyrrol]-1(2H)-yl]-3-nitrobenzamide”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 6, pp. 836–839. (in Russian).

44. Racheva, N.L., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2008). “Spiro-heterocyclization of pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-trione by the action with cyclic enehydrazine”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 6, pp. 937–938. (in Russian).

45. Chervyakov, A.V., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2018). “Synthesis of Spiro[indole-3,2'-pyrroles] from Pyrrolopyrazinetriones and Aminocyclohexenones”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 54, no. 6, pp. 951–953. (in Russian).

46. Denislamova, E.S., Bubnov, N.V., & Maslivets, A.N. (2011). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXXVI. Reaction of methyl 1-aryl-3-benzoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with 6-amino-1,3-dimethylpyrimidine-2,4(1H,3H)-dione”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 47, no. 6, pp. 933–936. (in Russian).

47. Silaichev, P.S., & Maslivets, A.N. (2013). “Spiro heterocyclization of 4,5-diaroyl-1H-pyrrole-2,3-diones with heterocyclic enamine”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 49, no. 6, pp. 945–946. (in Russian).

48. Bubnov, N.V., Denislamova, E.S., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2012). “Direct spiro heterocyclization of methyl 3-aryl-1-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-5-carboxylate by the action of 3-amino-1H-inden-1-one”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 48, no. 3, pp. 467–468. (in Russian).

49. Bubnov, N.V., Denislamova, E.S., Silaichev, P.S., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2012). “Five-membered 2,3-dioxoheterocycles: LXXXVI. Spiro-heterocyclization of 1-aryl-4-aryl-5-methoxycarbonyl-1H-pyrrole-2,3-diones under the action of 3-arylamino-1H-inden-1-ones. Crystal and molecular structure of 4'-hydroxy-3'-(2,4-dimethylbenzoyl)-1,1'-diphenyl-1H-spiro[indeno[1,2-b]pyrrole-3,2'-pyrrole]-2,4,5'(1'H)-trione”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 48, no. 5, pp. 694–698. (in Russian).

50. Silaichev, P., Filimonov, V., Slepukhin, P., & Maslivets, A. (2012). “Spiroheterocyclization of Methyl 1-Aryl-3-cinnamoyl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates by the Action of 3-(Arylamino)-1H-inden-1-ones”, *Molecules*, vol. 17, no. 12, pp. 13787–13794.

51. Bannikova, Y.N., Maslivets, A.N., Rozhkova, Y.S., Shklyayev, Y.V., & Aliev, Z.G. (2005). “Spiro heterocyclization of 5-methoxycarbonyl-2,3-dihydro-2,3-pyrrolediones by reaction with 1-methyl-3,4-dihydroisoquinoline”, *Mendeleev Communications*, vol. 15, no. 4, pp. 158–159.

52. Bannikova, Y.N., Rozhkova, Y.S., Shklyayev, Y.V., & Maslivets, A.N. (2008). “Five-membered 2,3-dioxoheterocycles: LVIII. Reaction of methyl 1-Aryl-3-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrol-2-carboxylates with substituted 1-methyl-3,4-dihydroisoquinolines. New approach to the synthesis of steroid 13-azaanalogs”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 5, pp. 697–700. (in Russian).

53. Denislamova, E.S., Shklyayev, Y.V., Makhmudov, R.R., & Maslivets, A.N. (2012). "Synthesis and analgesic activity of 1-aryl-3-aryl-4-hydroxy-5',5'-dimethyl-8',9'-diethoxy-5',6'-dihydro-3'h-spiro{pyrrole-2,2'-pyrrolo[2,1-a]isoquinoline}-3',5(1H)-diones", *Pharmaceutical Chemistry Journal*, vol. 46, no. 9, pp. 551–552. (in Russian).
54. Mashevskaya, I.V., Duvalov, A.V., Rozhkova, Y.S., Shklyayev, Y.V., Rachev, N.L., Bozdyrev, K.S., & Maslivets, A.N. (2004). "Spiro heterocyclization of pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones under the action of 1,3,3-trimethyl-3,4-dihydroisoquinoline", *Mendeleev Communications*, vol. 14, no. 2, pp. 75–76.
55. Racheva, N.L., Shklyayev, Y.V., Rozhkova, Y.S., & Maslivets, A.N. (2007). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LIII. Reaction of 3-Aroyl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with substituted 1,3,3-trimethyl-3,4-dihydroisoquinolines. A new approach to 13-aza analogs of steroids", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 9, pp. 1330–1333. (in Russian).
56. Konovalova, V.V., Kharitonova, A.V., Shklyayev, Y.V., & Maslivets, A.N. (2015). "Reaction of 3-aryl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with substituted acetamides of 3,4-dihydroisoquinolines", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 51, no. 11, pp. 1566–1571. (in Russian).
57. Afsah, E. M., Etman, H. A., Hamama, W. S., & Sayed Ahmed, A. F. (1995). "A study on the condensation of alpha, gamma-diketoesters with schiff bases", *Bollettino chimico-farmaceutico*, vol. 134, no. 10, pp. 547–550.
58. Han, Y., Wu, Q., Sun, J., & Yan, C.-G. (2012). "Synthesis of the functionalized spiro[indoline-3,5'-pyrroline]-2,2'-diones via three-component reactions of arylamines, acetylenedicarboxylates, and isatins", *Tetrahedron*, vol. 68, no. 41, pp. 8539–8544.
59. Sarkar, R., & Mukhopadhyay, C. (2013). "Admicellar catalysis in multicomponent synthesis of poly-substituted pyrrolidinones", *Tetrahedron Letters*, vol. 54, no. 28, pp. 3706–3711.
60. Vydzhak, R.N., & Panchishin, S.Y. (2011). "Synthesis of 1,2-dihydrochromeno[2,3-c]pyrrole-3,9-diones spiro derivatives", *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 81, no. 3, pp. 617–619. (in Russian).
61. Wetzel, S., Wilk, W., Chammaa, S., Sperl, B., Roth, A.G., Yektaoglu, A., Waldmann, H. (2010). "A Scaffold-Tree-Merging Strategy for Prospective Bioactivity Annotation of  $\gamma$ -Pyrone", *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 49, no. 21, pp. 3666–3670.
62. Gein, V.L., Gein, L.F., Kuznetsova, E.D., Sheptukha, M.A., Tsypliakova, E.P., & Potiemkin, K.D. (2008). "Three-component synthesis of 1-substituted 4-acetyl-3-hydroxyspiro[2,5-dihydropyrrol-5,3'-indole]-2,2'-diones", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 44, no. 5, pp. 626–627. (in Russian).
63. Patent: WO2015/189799; (2015). Adamed SP. Z O.O.; Feder M., Kalinowska I., Jaszczewska J.A., Burchard E., Lewandowski W., Bulkowska U., Mazur M., Wos K. Compounds comprising 1,1',2,5'-tetrahydrospiro[indole-3,2'-pyrrole]-2,5'-dione system as inhibitors P53-MDM2 protein-protein interaction Patent
64. Dubovtsev, A.Y., Denislamova, E.S., Silaichev, P.S., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2016). "Synthesis of Imidazole Spiro Compounds From 5-Alkoxy-carbonyl-1H-Pyrrole-2,3-Diones and Phenylurea", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 52, no. 7, pp. 467–472. (in Russian).

65. Dubovtsev, A.Y., Silaichev, P.S., Zheleznova, M.A., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2016). "Synthesis of spiro[imidazole-2,2'-pyrroles] by reaction of 4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with urea", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 52, no. 12, pp. 1779–1783. (in Russian).
66. Babenysheva, A.V., Maslivets, V.A., & Maslivets, A.N. (2007). "Spiro-heterocyclization of pyrrolobenzoxazinetriones effected by thiourea", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 10, pp. 1577–1578. (in Russian).
67. Kobelev, A.I., Tretyakov, N.A., Stepanova, E.E., Dmitriev, M.V., Rubin, M., & Maslivets, A.N. (2019). "Facile regiodivergent synthesis of spiro pyrrole-substituted pseudothiohydantoins and thiohydantoins via reaction of [e]-fused 1H-pyrrole-2,3-diones with thiourea", *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, vol. 15, pp. 2864–2871.
68. Bubnov, N.V., Denislamova, E.S., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2010). "Spiro heterocyclization of methyl 3-aryl-1-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates by the action of diphenylguanidine", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 46, no. 12, pp. 1891–1891. (in Russian).
69. Bubnov, N.V., Denislamova, E.S., Aliev, Z.G., & Maslivets, A.N. (2011). "Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXXV. Reaction of methyl 1-aryl-3-aryl-4,5-dioxo-4,5-dihydro-1H-pyrrole-2-carboxylates with 1,3-diphenylguanidine. Crystalline and molecular structure of 9-Benzoyl-8-hydroxy-2-imino-6-(4-methylphenyl)-1,3-diphenyl-1,3,6-triazaspiro-[4.4]non-8-ene-4,7-dione", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 47, no. 4, pp. 523–526. (in Russian).
70. Tutynina, N.M., Tairova, L.F., & Maslivets, A.N. (2014). "Direct spiro heterocyclization of pyrrolobenzoxazinetriones under the action of diphenylguanidine", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 50, no. 8, pp. 1218–1219. (in Russian).
71. Kobelev, A.I., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2021). "Reaction of Pyrrolobenzoxazinetriones with Diphenylguanidine. Synthesis of Substituted Spiro[imidazole-2,2'-pyrroles]", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 57, no. 1, pp. 108–112. (in Russian).
72. Kobelev, A.I., Stepanova, E.E., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2016). "Synthesis of spiro[pyrrole-2,5'-[1,3]thiazoles] by heterocyclization of pyrrolobenzoxazinetriones with thiobenzamide", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 52, no. 9, pp. 1363–1364. (in Russian).
73. Kobelev, A.I., Stepanova, E.E., Dmitriev, M.V., Denislamova, E.S., & Maslivets, A.N. (2018). "Spiroheterocyclization of Pyrrolobenzoxazinetriones under the Action of Thiobenzamide. Synthesis of Spiro[thiazolo-5,2'-pyrroles]", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 54, no. 5, pp. 766–770. (in Russian).
74. Kobelev, A.I., Stepanova, E.E., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2019). "Annulation of 1H-pyrrole-2,3-diones by thioacetamide: an approach to 5-azaisatins", *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, vol. 15, pp. 364–370.
75. Lukmanova, D.N., Prikhod'ko, Y.I., Mashevskaya, I.V., & Maslivets, A.N. (2017). "Synthesis of spiro[pyrrole-2,5'-thiazoles] by heterocyclization of pyrrolobenzoxazinetriones with salicylaldehyde thiosemicarbazone", *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 53, no. 12, pp. 1903–1904. (in Russian).
76. Lukmanova, D.N., Prikhod'ko, Y.I., Dmitriev, M.V., Mashevskaya, I.V., & Maslivets, A.N. (2019). "Synthesis of Spiro[pyrrole-2,5'-thiazoles] by Heterocyclization of Pyrrolobenzoxazinetriones with Aromatic

Aldehyde Thiosemicarbazones”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 55, no. 1, pp. 108–114. (in Russian).

77. Lukmanova, D.N., Balandina, S.Y., Makhmudov, R.R., & Mashevskaya, I.V. (2020). “Antinociceptive and Antimicrobial Activity of Products from Reactions of Pyrrolobenzoxazinetriones with Thiosemicarbazones of Aromatic and Heteroaromatic Aldehydes”, *Pharmaceutical Chemistry Journal*, vol. 54, no. 3, pp. 236–240. (in Russian).

78. Dmitriev, M.V., Silaichev, P.S., Slepukhin, P.A., & Maslivets, A.N. (2011). “Recyclization of isopropyl 2-(1-aryl-4,5-dioxo-2-phenyl-4,5-dihydro-1H-pyrrol-3-yl)-2-oxoacetates by the action of thiourea”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 47, no. 4, pp. 627–629. (in Russian).

79. Creech, G.S., & Kwon, O. (2010). “Tandem  $6\pi$ -Electrocyclization and Cycloaddition of Nitrodienes to Yield Multicyclic Nitroso Acetals”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 132, no. 26, pp. 8876–8877.

80. Mylari, B.L., Beyer, T.A., & Siegel, T.W. (1991). “A highly specific aldose reductase inhibitor, ethyl 1-benzyl-3-hydroxy-2(5H)-oxopyrrole-4-carboxylate and its congeners”, *Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 34, no. 3, pp. 1011–1018.

81. Lim, S.-H., Sim, K.-M., Abdullah, Z., Hiraku, O., Hayashi, M., Komiyama, K., & Kam, T.-S. (2007). “Leuconoxine, Kopsinitarine, Kopsijasmine, and Kopsinone Derivatives from Kopsia”, *Journal of Natural Products*, vol. 70, no. 8, pp. 1380–1383.

82. Low, Y.-Y., Hong, F.-J., Lim, K.-H., Thomas, N. F., & Kam, T.-S. (2014). “Transformations of the 2,7-Seco Aspidosperma Alkaloid Leuconolam, Structure Revision of epi-Leuconolam, and Partial Syntheses of Leuconoxine and Leuconodines A and F”, *Journal of Natural Products*, vol. 77, no. 2, pp. 327–338.

83. Gan, C.-Y., Low, Y.-Y., Thomas, N.F., & Kam, T.-S. (2013). “Rhazinilam–Leuconolam–Leuconoxine Alkaloids from *Leuconotis griffithii*”, *Journal of Natural Products*, vol. 76, no. 5, pp. 957–964.

84. Xu, Z., Wang, Q., & Zhu, J. (2015). “Total Syntheses of (–)-Mersicarpine, (–)-Scholarisine G, (+)-Melodinine E, (–)-Leuconoxine, (–)-Leuconolam, (–)-Leuconodine A, (+)-Leuconodine F, and (–)-Leuconodine C: Self-Induced Diastereomeric Anisochronism (SIDA) Phenomenon for Scholarisine G and Leuconodines A and C”, *Journal of the American Chemical Society*, vol. 137, no. 20, pp. 6712–6724.

85. Martinez-Alsina, L.A., Murray, J.C., Buzon, L.M., Bundesmann, M.W., Young, J.M., & O’Neill, B.T. (2017). “Spiropiperidine Sultam and Lactam Templates: Diastereoselective Overman Rearrangement and Metathesis followed by NH Arylation”, *The Journal of Organic Chemistry*, vol. 82, no. 23, pp. 12246–12256.

86. Babenysheva, A.V., Lisovskaya, N.A., & Maslivets, A.N. (2007). “Spiro heterocyclization of 1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with furazan-3,4-diamine”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 43, no. 4, pp. 633–634. (in Russian).

87. Mashevskaya, I.V., Aliev, Z.G., Mazhukin, D.G., Popov, S.A., Tikhonov, A.Y., & Maslivets, A.N. (2008). “Five-membered 2,3-dioxo heterocycles: LXII. Reaction of 3-aryl-1H-pyrrolo[2,1-c][1,4]benzoxazine-1,2,4-triones with N,N'-dihydroxycyclohexane-1,2-diamine. Unusual rearrangement in

the spiro[quinoxaline-2,2'-pyrrole] system”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 44, no. 8, pp. 1189–1193. (in Russian).

88. Maslivets, A.A., Dmitriev, M.V., & Maslivets, A.N. (2018). “Synthesis of Spiro[1,4-benzothiazine-2,2'-pyrroles] by Reaction of Pyrrolo[1,2-c][4,1]benzoxazepinetriones with 2-Aminobenzenethiol”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 54, no. 10, pp. 1573–1575. (in Russian).

#### Information about the authors

**Nikita A. Tretyakov**, Candidate of Chemistry Sciences, Senior Lecturer, Department of Organic Chemistry, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614990), [nik\\_tretyak@psu.ru](mailto:nik_tretyak@psu.ru)

**Andrey N. Maslivets**, Doctor of Chemistry Sciences, Professor, Head of the Department of Organic Chemistry, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614990), [koh2@psu.ru](mailto:koh2@psu.ru)

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 23 May 2023; accepted 30 May 2023*