



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 254–259

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 254–259

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-254-259>

Научная статья

УДК 547.814.5

## Синтез полизамещенных спиропирролидинов с использованием 2-ацетилфурана, 2-ацетилтиофена и 2-ацетилпиррола



С. В. Борисова , В. В. Сорокин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Борисова Светлана Васильевна, аспирант кафедры органической и биоорганической химии Института химии, [chuvainasv@gmail.com](mailto:chuvainasv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8025-1296>

Сорокин Виталий Викторович, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии, [sorokiniv@gmail.com](mailto:sorokiniv@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-5861-3307>

**Аннотация.** Синтезированы новые замещенные спиропирролидины с помощью реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения азометин-илидов, полученных конденсацией изатина и саркозина *in situ*, и 3-фенил-1-гетероарил-2-ен-1-онов, синтезированных с помощью реакции Кневенагеля с использованием 2-ацетилфурана, 2-ацетилпиррола, 2-ацетилтиофена и замещенных бензальдегидов. Эти соединения впервые используются в качестве диполярофилов. Показано, что взаимодействие происходит в мягких условиях, регио- и стереоселективно с образованием одного типа продуктов в результате синхронного процесса циклоприсоединения. Реакция проводилась смешиванием эквимольных количеств енона и изатина, а также небольшого избытка саркозина в среде изопропилового спирта при нагревании до 60–70°C. Среди енонов с различными гетероциклическими заместителями в качестве диполярофилов наиболее удобно использовать соединения, содержащие пиррольный фрагмент, так как при этом продукты получаются за небольшое количество времени с хорошими выходами. Использование енонов, полученных из 2-ацетилтиофена, приводит к увеличению времени проведения реакции, а из 2-ацетилфурана – к значительному осмолению реакционной смеси. Состав и строение конечных продуктов подтверждены данными элементного анализа, ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, HMBC, NOESY спектроскопии. На основании полученных данных предложен механизм образования продуктов.

**Ключевые слова:** спирооксоиндолы, трёхкомпонентная реакция, 1,3-диполярное циклоприсоединение, азометин-илиды

**Для цитирования:** Борисова С. В., Сорокин В. В. Синтез полизамещенных спиропирролидинов с использованием 2-ацетилфурана, 2-ацетилтиофена и 2-ацетилпиррола // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 254–259. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-254-259>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Synthesis of polysubstituted spiropyrrolidines using 2-acetylfuran, 2-acetylthiophene, and 2-acetylpyrrole

S. V. Borisova , V. V. Sorokin

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Svetlana V. Borisova, [chuvainasv@gmail.com](mailto:chuvainasv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8025-1296>

Vitaly V. Sorokin, [sorokiniv@gmail.com](mailto:sorokiniv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5861-3307>

**Abstract.** A series of novel spirooxindoles have been synthesized through three-component 1,3-dipolar cycloaddition of azomethine ylides generated *in situ* by the decarboxylative condensation of isatin and sarcosine with the dipolarophile 3-phenyl-1-(heteroaryl-2-yl)prop-2-en-1-one, synthesized by the Knoevenagel reaction using 2-acetylfuran, 2-acetylpyrrole, 2-acetylthiophene and substituted benzaldehydes. These compounds are used for the first time as dipolarophiles. This method has the advantages of mild reaction conditions, high atom economy, excellent yields, and high regio- and stereo-selectivity. The reaction was carried out by mixing equimolar amounts of enone and isatin, as well as a slight excess of sarcosine in isopropyl alcohol when heated to 60–70°C. Among the enones with various heterocyclic substituents, it is most convenient to use compounds containing a pyrrole fragment as dipolarophiles, since the products are obtained in a short amount of time in good yields. The use of enones obtained from 2-acetylthiophene leads to an increase in the reaction time, and from 2-acetylfuran - to a significant resinification of the reaction mixture. The structures of the compounds obtained were proved using a combination of <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C NMR spectroscopy data, as well as two-dimensional NMR experiments of heteronuclear correlation, HSQC and HMBC. Based on the data obtained, a mechanism for the formation of products has been proposed.

**Keywords:** spirooxindole, three-component reaction, 1,3-dipolar cycloaddition, azomethine ylide



**For citation:** Borisova S. V., Sorokin V. V. Synthesis of polysubstituted spiropyrrolidines using 2-acetylfuran, 2-acetylthiophene, and 2-acetylpyrrole. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 254–259. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-254-259>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

В настоящее время разработка простых методов синтеза новых производных пирролидинов, содержащих пятичленные гетероциклические заместители, является актуальной задачей органического синтеза. 1,3-диполярное циклоприсоединение азометин-илидов, генерируемых *in situ*, представляет собой эффективный подход конструирования таких систем.

Изатин, благодаря наличию карбонильной функциональной группы, может вступать в реакцию конденсации с саркозином, приводящую к получению азометин-илидов в мягких условиях. Обзор [1] содержит обширные сведения о высокой биологической и фармакологической активности продуктов реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения с подобными диполями, также известны работы, обобщающие биологические исследования других сложнопостроенных производных изатина [2–5]. Всё это свидетельствует о перспективности использования азометин-илидов, генерируемых *in situ* путем конденсации изатина и саркозина, в реакциях 1,3-диполярного циклоприсоединения для синтеза новых биологически активных веществ.

Еноны являются удобными диполярофилами благодаря легкости их получения и активности в реакциях 1,3-диполярного циклоприсоединения. Некоторые из продуктов подобных синтезов проявляют цитотоксическую активность [6, 7]. Еноны, полученные из пятичленных ацетильных производных гетероциклов, проявляют более высокую активность по сравнению с халконами аналогичного строения благодаря наличию электроноизбыточного гетероциклического заместителя [8, 9]. Сохранение такого фрагмента в продуктах реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения может отразиться на биологической активности: Ранее поведение подобных енонов в качестве диполярофилов в реакциях 1,3-диполярного циклоприсоединения не изучалось.

Таким образом, целью работы является синтез новых производных пирролидина с помощью реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения азометин-илидов, полученных конденсаций изатина и саркозина *in situ*, и енонов – производных 2-ацетилфурана, 2-ацетилтиофена и 2-ацетилпиррола.

## Материалы и методы

Элементный анализ проводился на CHNS-анализаторе Elementar Vario Micro cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия). Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  (400 МГц) и  $^{13}\text{C}$  (100 МГц) регистрировались на спектрометре Varian 400 (Varian, США) в  $\text{CDCl}_3$ , внутренний стандарт – ТМС. Контроль за ходом реакции осуществляли методом ТСХ на пластинках Alugram® Sil G UV254 (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Германия), элюент – гексан – этилацетат – хлороформ (3:2:1) для синтеза исходных халконов, (2:2:1) для синтеза продуктов.

### 3-(4-нитрофенил)-1-тиофен-2-ил-2-ен-1-он (1)

В плоскодонную колбу объемом 25 мл, снабженную дефлегматором, помещают 2-ацетилтиофена 0,50 г (4,5 ммоль), смешивают с 4- $\text{NO}_2$ -бензальдегидом 0,63 г (4,5 ммоль), добавляют 5 мл этанола и нагревают до  $65^\circ\text{C}$  при постоянном перемешивании. К полученному раствору добавляют по каплям 5% раствор гидроксида натрия до  $\text{pH}=10$ . Наблюдают полное растворение компонентов. Нагревание проводят до выпадения первых кристаллов **1**. Ход реакции отслеживают с помощью ТСХ до исчезновения пятен исходных реагентов. К полученному раствору добавляют 10 мл воды и нейтрализуют 10% раствором соляной кислоты. Выпавший осадок перекристаллизовывают из смеси этанол–вода. Выход 1,06 г (91%). Кристаллы коричневого цвета,  $t_{\text{пл}}=132\text{--}133$ . Лит. данные:  $t_{\text{пл}}=130\text{--}131^\circ\text{C}$  [9].

### Аналогично получают соединения **2**, **3a**, **b**

#### 3-(4-хлорфенил)-1-фуран-2-ил-2-ен-1-он (2b)

Выход 0,89 г (85%),  $t_{\text{пл}}=209\text{--}211^\circ\text{C}$ . Кристаллы желтого цвета. Лит. данные:  $t_{\text{пл}}=209\text{--}210^\circ\text{C}$  [9].

#### 3-(2-хлорфенил)-1-пирролил-2-ен-1-он (3a)

Выход 0,86 г (83%),  $t_{\text{пл}}=175\text{--}177^\circ\text{C}$ . Кристаллы светло-желтого цвета,  $t_{\text{пл}}=115\text{--}117^\circ\text{C}$ . Лит. данные:  $t_{\text{пл}}=113\text{--}114^\circ\text{C}$  [8].

#### 3-(2,4-дихлорфенил)-1-пирролил-2-ен-1-он (3b)

Выход 1,07 г (90%),  $t_{\text{пл}}=100\text{--}101^\circ\text{C}$ . Кристаллы желтого цвета. Лит. данные:  $t_{\text{пл}}=103\text{--}105^\circ\text{C}$ . [8].

#### 4'-(4-нитрофенил)-3'-тиофенил'-

#### спиро[индолин-3,2'-пирролидин]-2-он(4a)

В круглодонную колбу объемом 25 мл, снабженную дефлегматором, помещают 1-(тиофен-2-ил)-3-(4-нитрофенил)проп-2-ен-1-он **3** 0,3 г (3,1 ммоль) смешивают с изатином **4** 0,19 г (3,1 ммоль) и саркозином **5** 0,36 г (6,2 ммоль),



добавляют 5 мл изопропилового спирта, перемешивают при 65°C в течение 4 часов. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают водой и перекристаллизовывают в этаноле.

Выход 0,88 г (63%), Т. пл. 185–186°C. ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 8.17 (d, J = 8.3 Гц, 2H), 7.70 (d, J = 8.5 Гц, 3H), 7.41 (d, J = 4.9 Гц, 1H), 7.34 (d, J = 3.8 Гц, 1H), 7.26 (s, 1H), 7.17 (d, J = 7.4 Гц, 1H), 7.07 (t, J = 7.7 Гц, 1H), 6.96 (t, J = 7.5 Гц, 1H), 6.84 (t, J = 4.4 Гц, 1H), 6.59 (d, J = 7.7 Гц, 1H), 4.62 (q, J = 8.8 Гц, 1H), 4.31 (d, J = 9.1 Гц, 1H), 3.67 (t, J = 9.2 Гц, 1H), 3.50 (t, J = 8.1 Гц, 1H), 2.23 (s, 3H).

ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: δ 188.79, 179.48, 149.18, 146.99, 144.22, 140.22, 134.75, 131.43, 129.44, 129.16, 127.78, 126.93, 126.31, 123.94, 123.30, 109.29, 77.34, 77.02, 76.70, 73.84, 63.84, 59.91, 44.17, 34.93.

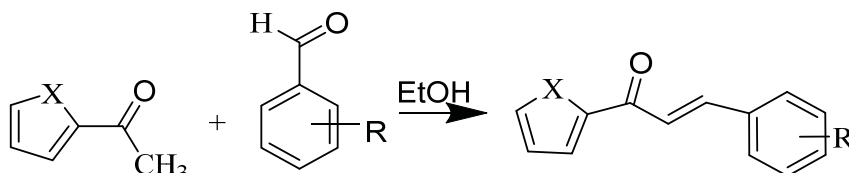
Найдено, %: С 63.04; Н 4.36; N 10.05; S 7.28. C<sub>23</sub>H<sub>19</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>S. Вычислено, %: С 63.73; Н 4.42; N 9.69; S 7.40.

*4'-(2-хлорфенил)-3'-фуран-2-ил-1'-спиро[индолин-3,2'-пирролидин]-2-он (4a)*

Выход 0.76 г (60%), Т. пл. 191–192°C. ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 7.83 (d, J = 7.8 Гц, 1H), 7.34 (d, J = 8.0 Гц, 2H), 7.31 – 7.25 (m, 3H), 7.17 (t, J = 7.2 Гц, 2H), 7.14 – 7.11 (m, 1H), 7.07 (t, J = 7.7 Гц, 1H), 6.93 (t, J = 7.6 Гц, 1H), 6.86 (d, J = 3.6 Гц, 1H), 6.67 (d, J = 7.7 Гц, 1H), 6.22 (dd, J = 3.6, 1.8 Гц, 1H), 5.08 (q, J = 8.5 Гц, 1H), 4.48 (d, J = 8.7 Гц, 1H), 3.55 – 3.44 (m, 2H), 3.33 (qd, J = 16.2, 7.1 Гц, 1H), 2.20 (s, 3H).

ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: 184.94, 180.00, 152.69, 146.48, 146.19, 140.61, 139.00, 134.56, 129.99, 129.57, 129.18, 129.00, 127.87, 127.26, 127.02, 126.87, 126.43, 122.99, 117.52, 116.89, 114.99, 114.95, 112.29, 109.17, 73.58, 61.56, 60.37, 42.59, 39.56, 34.84.

Найдено, %: С 67.74; Н 4.23; N 7.31. C<sub>23</sub>H<sub>19</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>S. Вычислено, %: С 67.90; Н 4.71; N 6.89.



Синтезированные соединения были применены как диполярофилы. Реакция проводилась смешиванием эквимольных количеств енона и

*4'-(2,4-дихлорфенил)-3'-пирролил-1'-спиро[индолин-3,2'-пирролидин]-2-он (5b)*

Выход 0.83 г (61%), Т. пл. 218–220°C. ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 7.43 (d, J = 8.4 Гц, 2H), 7.38 (dd, J = 5.0, 1.2 Гц, 1H), 7.35 (dd, J = 3.9, 1.1 Гц, 1H), 7.26 (d, J = 1.1 Гц, 2H), 7.20 (d, J = 7.4 Гц, 1H), 7.08–7.00 (m, 1H), 6.96 (td, J = 7.6, 1.2 Гц, 1H), 6.89–6.80 (m, 3H), 6.54 (d, J = 7.7 Гц, 1H), 4.45 (td, J = 9.5, 7.0 Гц, 1H), 4.32 (d, J = 9.4 Гц, 1H), 3.76 (d, J = 1.1 Гц, 3H), 3.62 (t, J = 9.4 Гц, 1H), 3.42 (dd, J = 8.9, 7.3 Гц, 1H), 2.23 (s, 3H).

ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: δ 189.49, 158.52, 144.84, 140.17, 134.12, 133.12, 131.20, 129.13, 129.07, 127.58, 127.10, 127.01, 123.12, 114.03, 110.00, 108.92, 77.30, 76.99, 76.67, 64.14, 60.44, 55.24, 43.87, 34.99.

Найдено, %: С 62.27; Н 4.43; N 9.91. C<sub>23</sub>H<sub>19</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>S. Вычислено, %: С 62.74; Н 4.35; N 9.54.

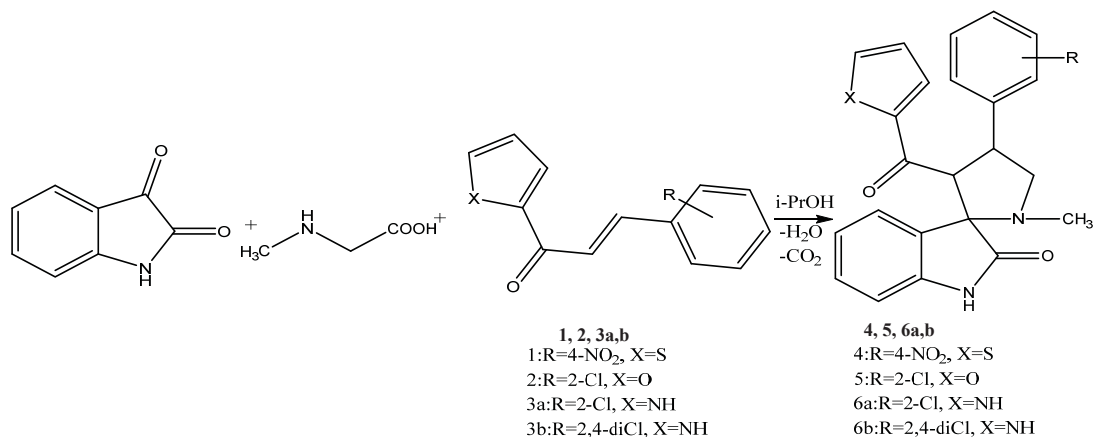
*4'-(2-хлорфенил)-3'-пирролил-1'-спиро[индолин-3,2'-пирролидин]-2-он (4a)*

Выход 0.78 г (62%), Т. пл. 246–248°C. ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 8.98 (с, 1H, NH), 7.79 (dd, J = 7.7, 1.7 Гц, 1H), 7.45 (s, 1H), 7.32 (dd, J = 7.9, 1.3 Гц, 1H), 7.17 – 7.09 (m, 2H), 7.09 – 7.03 (m, 1H), 6.98 – 6.90 (m, 2H), 6.78 (d, J = 3.2 Гц, 1H), 6.68 (d, J = 3.9 Гц, 1H), 6.62 (d, J = 7.8 Гц, 1H), 6.02 (q, J = 2.8 Гц, 1H), 5.06 (q, J = 8.6 Гц, 1H), 4.39 (d, J = 9.2 Гц, 1H), 3.55 (t, J = 8.3 Гц, 1H), 3.43 (t, J = 8.9 Гц, 1H). ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: 185.39, 179.45, 149.61, 139.13, 129.50, 129.02, 128.76, 127.82, 127.32, 127.22, 125.04, 122.72, 116.08, 115.01, 110.54, 109.19, 77.32, 74.40, 61.10, 60.54, 40.32, 35.13. Найдено, %: С 67.47; Н 4.54; N 10.00. C<sub>23</sub>H<sub>19</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>S. Вычислено, %: С 68.06; Н 4.97; N 10.35.

**Результаты и их обсуждение**

Исходные еноны были получены с помощью конденсации Кневенагеля с использованием 2-ацетилфурана, 2-ацетилпиррола и 2-ацетилтиофена и замещенных бензальдегидов с хорошими выходами (до 90%).

изатина, а также небольшого избытка саркозина в среде изопропилового спирта при нагревании до 60–70°C с получением продуктов **4**, **5**, **6a**, **b**.



На примере продукта **4** показано подтверждение структуры методами ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, HMBC, NOESY спектроскопии.

В спектре ЯМР <sup>1</sup>H полученных соединений присутствуют ключевые сигналы пирролидинового цикла. Протону в третьем положении со-

ответствует дублет в области 4.31 м.д., протону в четвертом положении – квартет при 4.62 м.д., диастереотопные протоны в пятом положении резонируют двойным триплетом при 3.67 и 3.50 м.д. Протонам метильной группы соответствует синглет в области 2.23 м.д. (рис. 1).

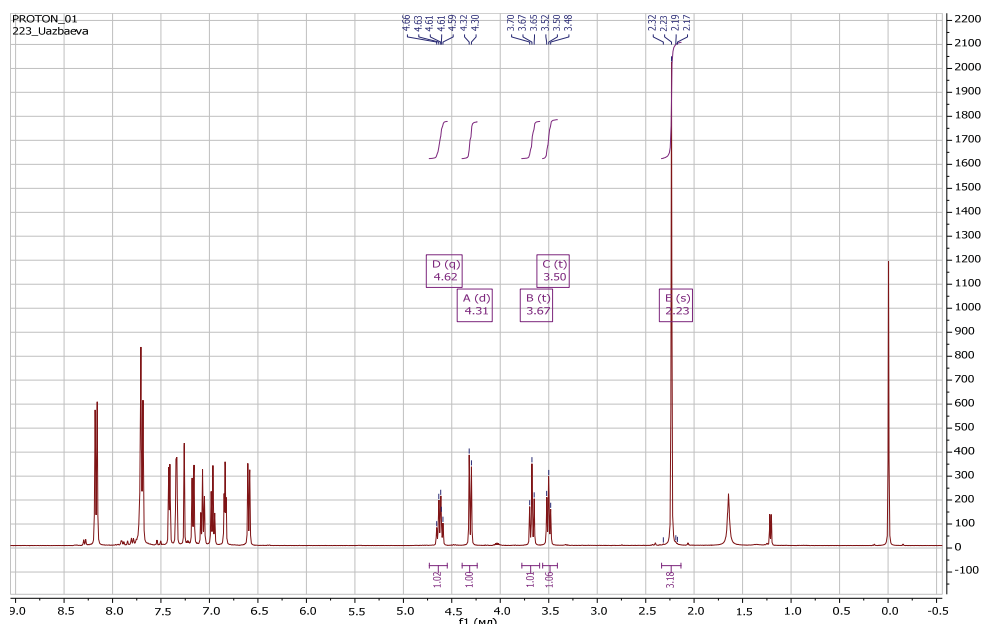


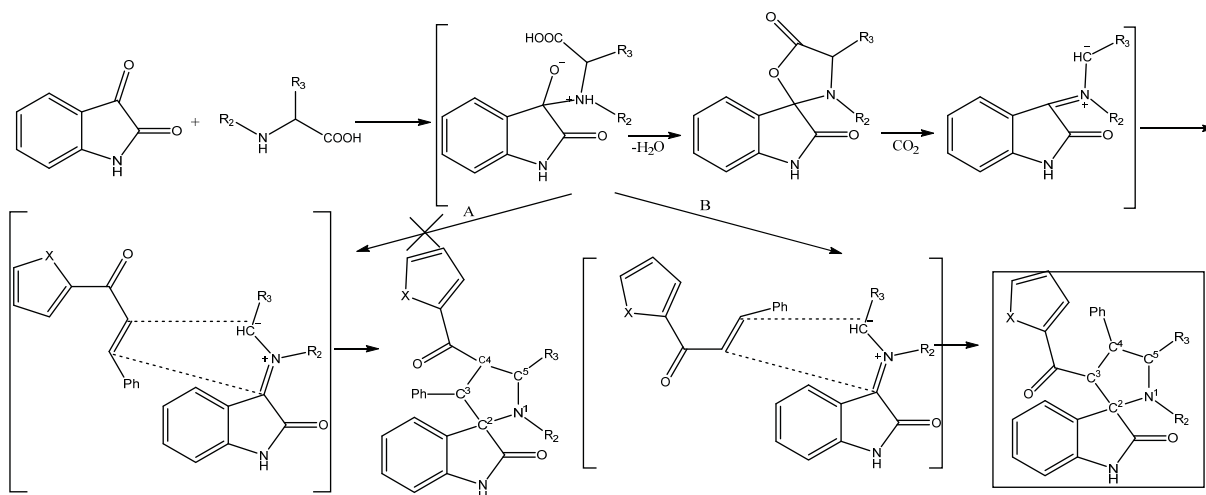
Рис. 1. ЯМР <sup>1</sup>H спектр 1'-метил-4'-(4-нитрофенил)-3'-(тиофен-2-ил)спиро[индолин-3,2'-пирролидин]-2-она (**9a**), CDCl<sub>3</sub>

Fig. 1. NMR <sup>1</sup>H spectrum 1'-methyl-4'-(4-nitrophenyl)-3'-(thiophene-2-yl)spiro[indoline-3,2'-pyrrolidine]-2-one (**9a**), CDCl<sub>3</sub>

В спектре ЯМР <sup>13</sup>C наблюдаются сигналы спироциклического атома углерода пирролидинового кольца при 73.84 м.д., углеродов карбонильных групп: амидного при 179.49 м.д. и кетонного при 188.79 м.д. фрагментов. Углероду метильной группы соответствует синглет в области 34.77 м.

Как известно [10], образование саркози-

нового 1,3-диполя происходит через несколько последовательных процессов: нуклеофильная атака атомом азота саркозина карбонильного атома углерода изатина с последующими стадиями дегидратации и декарбосилирования. Затем азометин-илид присоединяется к двойной связи диполярофила с получением конечного продукта.



В ходе циклоприсоединения теоретически возможно образование двух региоизомеров по пути А и В, различающихся заместителями в 3 и 4 положении пирролидинового кольца. Разрешить этот вопрос позволяет детальный разбор двумерных спектров НМВС. Корреляция протона

в третьем положении и карбамидного атома углерода (179,48/4,39), а также протона в четвертом положении и атома углерода бензольного кольца (4,62/129,16), протонов бензольного кольца и атома углерода C4(44,17/769) однозначно свидетельствует об образовании продукта по пути В (рис. 2).

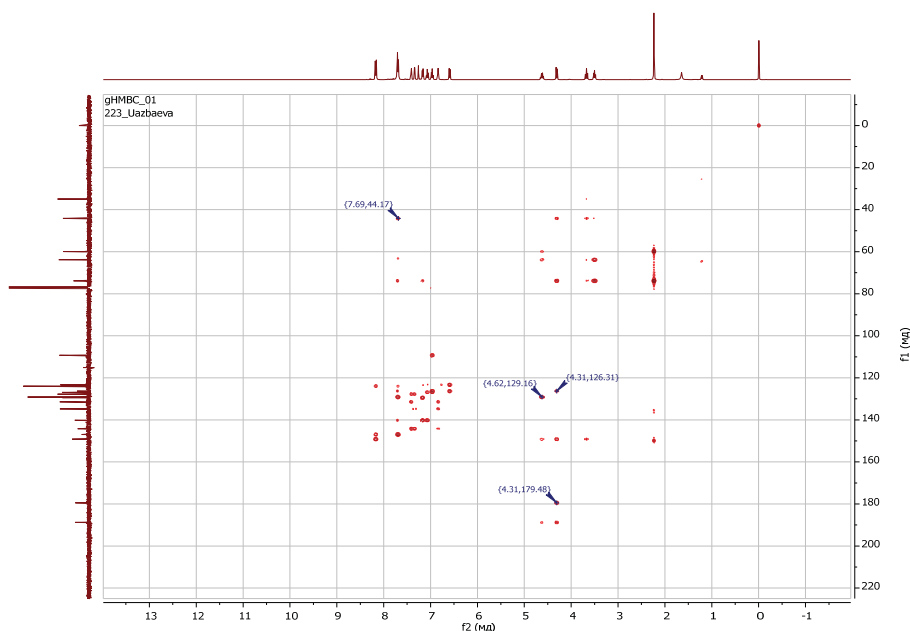


Рис. 2. НМВС спектр 1'-метил-4'-(4-нитрофенил)-3'-(тиофен-2-ил)спиро[индолин-3,2'-пирролидин]-2-она (4), CDCl<sub>3</sub>

Fig. 2. HMBC spectrum 1'-methyl-4'-(4-nitrophenyl)-3'-(thiophene-2-yl)spiro[indoline-3,2'-pyrrolidin]-2-one (4), CDCl<sub>3</sub>

Благодаря эксперименту NOESY 2D были изучены особенности стереохимического строения продуктов. Отсутствие корреляции между протонами при C-3 и C-4 пирролидинового цикла говорит об их трансoidalном расположении, соответствующем исходным 3-фенил-1-

гетероарилпропен-2-онов, что свидетельствует о синхронном механизме, в результате которого разрыв и образование новых связей происходит одновременно, без интермедиата, и относительное положение заместителей не изменяется.



Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что в качестве диполярфилов среди енонов с различными гетероциклическими заместителями лучше всего зарекомендовали себя соединения **3 a,b**, содержащие пиррольный фрагмент, позволяющие получать конечные продукты за небольшое количество времени (3–4 часа). Использование енонов, полученных из 2-ацетилтиофена, приводит к увеличению времени проведения реакции, а из 2-ацетилфурана – к значительному осмолению реакционной смеси.

Таким образом, показана возможность получения спироциклических пирролидинов определенного региоизомерного и стереохимического состава с помощью реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения нестабилизированных диполей на основе изатина и саркозина с 3-фенил-1-(гетероарил)пропен-2-онон.

### Список литературы

1. Lashgari N., Ziarani G. M. Synthesis of heterocyclic compounds based on isatin through 1, 3-dipolar cycloaddition reactions // *Arkivoc.* 2012. Vol. 32. P. 277–320. <https://doi.org/10.1002/chin.201232253>
2. Chahal V. Isatin and its derivatives: A survey of recent syntheses, reactions, and applications // *Med. Chem. Commun.* 2019. Vol. 13. P. 1–19. <https://doi.org/10.1039/C8MD00585K>
3. Mayuri A. A Review on Synthesis of Spiro Heterocyclic Compounds From Isatin // *Synthetic Communications*, 2013, vol. 7, pp. 897–922. <https://doi.org/10.1080/00397911.2013.843196>
4. Moradi R. Recent applications of isatin in the synthesis of organic compounds // *Arkivoc.* 2017. Vol. 25. P. 148–201. <https://doi.org/10.3998/ark.5550190.p009.980>
5. Yu B., Yu D.-Q., Liu H.-M. Spirooxindoles: Promising scaffolds for anticancer agents // *Eur. J. Med. Chem.* 2015. Vol. 97. P. 637. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2014.06.056>
6. Аниськов А. А., Клочкова И. Н., Щекина М. П., Андреев К. А., Тумский Р. С. Стереохимические аспекты реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения в ряду сопряженных енонов // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология.* 2016. Т. 16, вып. 1. С. 35–42. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2016-16-1-35-42>
7. Tumskiy R. S., Burygin G. L., Anis'kov A. A., Klochkova I. N. Synthesis of novel spirooxindole-pyrrolidines and evaluation of their cytotoxic activity // *Pharmacological Reports*. 2019. Vol. 71. P. 357–360. <https://doi.org/10.1016/j.pharep.2018.12.004>
8. Sharma P., Kumar S., Ali F.n, Anthal S. Synthesis and biologic activities of some novel heterocyclic chalcone derivatives // *Med. Chem. Res.* 2013. Vol. 22. P. 3969–3983. <https://doi.org/10.1007/s00044-012-0401-7>
9. Yang S., Kim Y., Jeong D., Kim J., Kim S. Pyrrole-Derivative of Chalcone, (E)-3-Phenyl-1-(2-Pyrrolyl)-2-Propenone, Inhibits Inflammatory Responses via Inhibition of Src, Syk, and TAK1 Kinase Activities // *Original Article Biomol. Ther.* 2016. Vol. 24, iss. 6. P. 595–603. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2016.027>
10. Grigg R. The Decarboxylative Route to Azomethine Ylides. Mechanism of 1,3-Dipole Formation // *J. Chem. Soc. Commun.* 1987. Vol. 12. P. 49–51. <https://doi.org/10.1039/C39870000049>

Поступила в редакцию 10.02.21, после рецензирования 25.02.21, принята к публикации 02.03.21  
Received 10.02.21, revised 25.02.21, accepted 02.03.21