

Д. Л. Рахманкулов, С. Ю. Шавшукова, Ф. Н. Латыпова<sup>а</sup>

**СИНТЕЗ И ПРЕВРАЩЕНИЯ  
ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

(ОБЗОР)

Рассмотрены и систематизированы по типам образующихся продуктов литературные данные о синтезе и превращениях гетероциклических соединений в условиях микроволнового нагрева. Для сравнения приведены результаты аналогичных реакций, проведенных с использованием обычного нагрева.

**Ключевые слова:** гетероциклы, микроволновое излучение, микроволновой нагрев.

Микроволновое излучение (МВИ) частотой 2450 МГц начали применять в 1970–1980 гг. в аналитической химии для интенсификации подготовки проб, а также анализа природных и синтетических образцов [1]. При этом создавалось и совершенствовалось специализированное оборудование [2, 3].

В последнее десятилетие нагрев с помощью МВИ все чаще используется в органическом синтезе [4–7]. Исследования в большинстве случаев проводятся в бытовых микроволновых печах или в установках для подготовки проб и анализа (дайджестах). Созданы также микроволновые приборы, предназначенные непосредственно для проведения органических реакций [8–10].

Микроволновой нагрев привлекает внимание исследователей тем, что позволяет значительно сократить продолжительность реакций, повысить их селективность и выход целевых продуктов, что особенно важно в случае высокотемпературных процессов, идущих длительное время. Успех микроволнового синтеза определяется, в большинстве случаев, выбором растворителя (он должен быть высокополярным, например, ДМФА, этанол) и, главным образом, режимом микроволнового нагрева, который может осуществляться в закрытой или открытой системе. Для условий закрытой системы созданы специальные герметичные сосуды [7].

Применяются непрерывный и импульсный нагрев. Последний необходим при проведении реакций в закрытом сосуде в случае быстрого подъема давления [4]. По виду подвода микроволновой энергии различают мономодовый режим облучения, при котором электромагнитная энергия подается к нагреваемому объекту в виде монохроматического сфокусированного луча, и мультимодовый режим, применяемый в бытовой технике, характеризующийся хаотичным распределением энер-

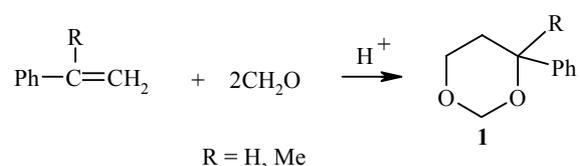
гии по объему рабочей камеры с нагреваемым объектом. Мономодовый режим энергетически более выгоден, поскольку он характеризуется минимальными потерями энергии. Однако, он не может использоваться для обработки больших количеств реагентов [11].

Ниже рассмотрены литературные данные о синтезе и превращениях гетероциклических соединений в условиях микроволнового нагрева, которые сравниваются с результатами, полученными в условиях обычного нагрева. Обзор включает три раздела, содержащие сведения об образовании продуктов определенного типа: соединений с O-гетероциклом (раздел 1); соединений с N- или S-гетероциклом (раздел 2); соединений, имеющих в цикле два разных гетероатома (раздел 3).

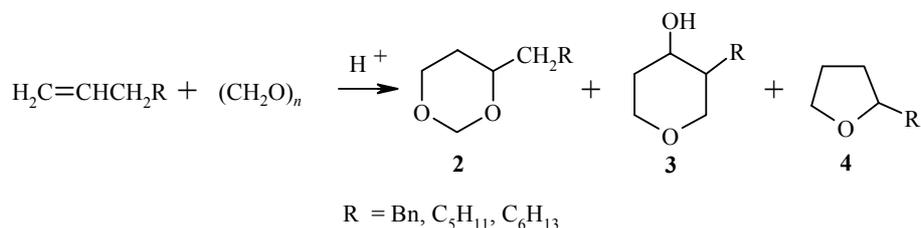
Подавляющее количество публикаций, посвященных применению МВИ в органической химии, относится к интенсификации получения гетероциклических соединений, применяемых в многостадийных синтезах важнейших физиологически активных веществ.

### 1. СИНТЕЗ СОЕДИНЕНИЙ С O-ГЕТЕРОЦИКЛОМ

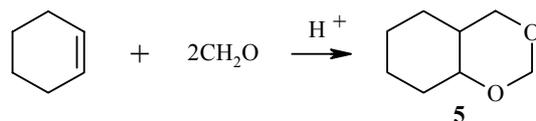
Микроволновой нагрев успешно использован в синтезе ряда замещенных 1,3-диоксанов. Образование последних при конденсации различных олефинов с формальдегидом, например соединений **1**, происходит, в среднем, в 2–6 раз быстрее, чем их синтез при обычном нагреве, несмотря на то, что реакции протекают в открытой системе при температуре кипения реакционной смеси [12].



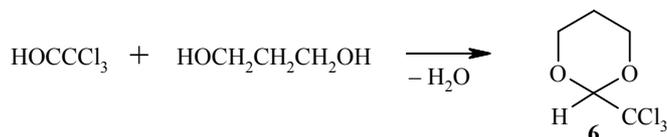
Показано, что при использовании микроволнового нагрева вместо обычного повышаются конверсия терминальных олефинов (гептена-1, октена-1, нонена-1) и скорость образования соответствующих продуктов оксиметилирования **2–4**. Следует отметить, что состав продуктов **2–4** не зависит от способа нагрева [13].



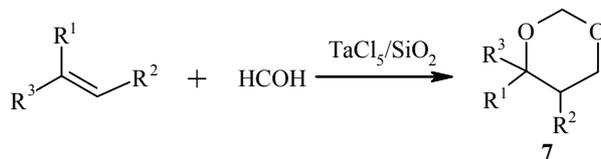
Аналогичные результаты получены и при оксиметилировании циклических олефинов, в частности, циклогексена [14]. Уровень его конверсии в 4,5-тетраметилен-1,3-диоксан (**5**) достигает 75% за 35 мин микроволнового нагрева и 85% за 4 ч обычного нагрева.



Синтез 2-(трихлорметил)-1,3-диоксана (**6**) в микроволновом реакторе моноמודового типа протекает за 30 мин, а при традиционном нагреве – за 8 ч [15].

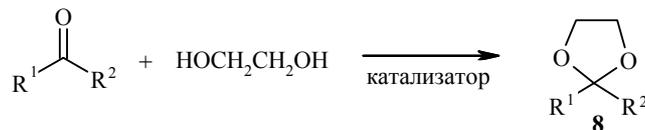


Найдены оптимальные условия получения производных 1,3-диоксана **7** конденсацией олефинов с формальдегидом при нагреве с помощью МВИ в присутствии катализатора  $\text{TaCl}_5$ , нанесенного на силикагель [16]. Реакция завершается в течение 3–4 мин, и выходы замещенных 1,3-диоксанов составляют 85–90%, в то время как при обычном нагревании требуется 10–13 ч и выходы продуктов **7** не превышают 80%.



R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	Выход 7, %	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	Выход 7, %
H	H	Ph	90	H	Ph	Ph	85
Me	H	Ph	88	H	H	<i>p</i> -O <sub>2</sub> NC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	80
H	Ph	Me	86	H	Me	<i>p</i> -MeC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	90
H	H	<i>p</i> -ClC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	85	H	Ph	Ph	85
H	Me	<i>p</i> -MeC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	88	H	H	(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOMe	78

Конденсацией этиленгликоля с кетонами и альдегидами в условиях микроволнового нагрева в присутствии катализаторов TsOH, FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с высокими выходами (до 96%) получен ряд 1,3-диоксоланов **8**. Продолжительность реакций составляет 2 мин [17].

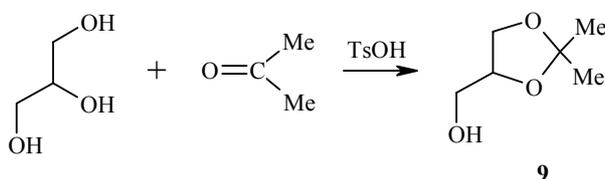


Исходный альдегид или кетон	Выход <b>8</b> , %		
	TsOH	FeCl <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Me(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CHO	96	97	75
PhCHO	81	77	90
<i>m</i> -O <sub>2</sub> NC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COCH <sub>2</sub> Cl	98	88	90
<i>o</i> -MeOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO	90	95	92
PhCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	88	91	95
<i>p</i> -O <sub>2</sub> NC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO	97	83	96
<i>p</i> -ClC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CHO	96	97	91
(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CO	88	85	63

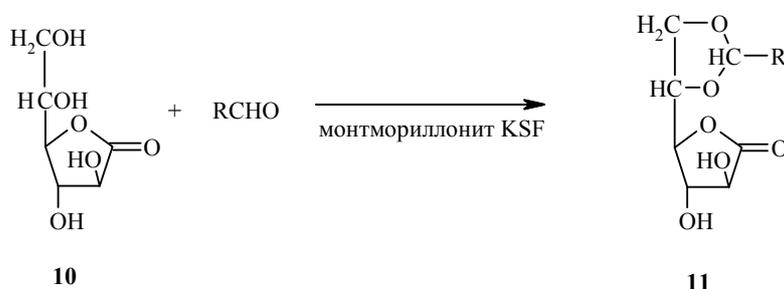
Изучен также микроволновой синтез 1,3-диоксоланов в присутствии I<sub>2</sub>. При этом продукты **8** получены в большинстве случаев с высокими выходами при продолжительности реакций 3–7 мин [18].

Исходный альдегид или кетон	Выход <b>8</b> , %	Исходный альдегид или кетон	Выход <b>8</b> , %
Бензальдегид	85	Циклогексанон	92
<i>n</i> -Нитробензальдегид	83	Метилциклогексанон	83
<i>n</i> -Хлорбензальдегид	90	Холестанон	98
Анисовый альдегид	87	Тетрагидрокарвон	98
Глутаровый альдегид	55		

Изопропилиденглицерин – 2,2-диметил-4-гидроксиметилендиоксолан-1,3 (**9**) синтезирован с выходом 84% в проточном микроволновом реакторе в течение 1–2 мин при температуре 133 °С. В условиях обычного нагрева для достижения сравнимого выхода продукта **9** необходимо 12–24 ч [8].

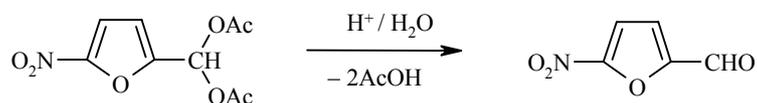


Одним из эффективных методов получения гетероциклических соединений с применением МВИ является проведение реакции на твердых минеральных носителях без растворителя. К достоинствам такого способа следует отнести отсутствие растворителя, нагревание которого в открытой микроволновой системе небезопасно, к недостаткам – сложность измерения температуры и небольшую поверхность соприкосновения органической фазы с носителем. В качестве носителей применяют монтмориллонит K10 или KSF, оксиды кремния и алюминия, цеолиты, являющиеся активными приемниками МВИ [19]. Например, для ацетализации соединения **10** длинноцепочечными альдегидами при кипячении в ДМФА в присутствии серной кислоты требуется 24–48 ч. В микроволновой системе с применением монтмориллонита KSF продукты реакции **11** были получены в течение 10 мин с выходами, превышающими почти в 3 раза выходы, достигнутые при обычном нагреве [11].

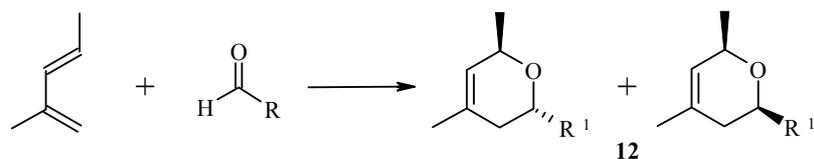


При использовании МВИ для деацетилирования диацетата 5-нитро-2-

фурфуrola на разных носителях наиболее эффективным оказался монтмориллонит K10: выход 5-нитрофурфуrola за 2 мин реакции составил 99%. В условиях обычного нагрева (50–60 °C) в растворителе выход указанного сырого продукта через 5–6 ч составляет 83%, а на монтмориллоните K10 при 110 °C реакцию осуществить не удалось [20].



В разных условиях нагрева изучена реакция присоединения метилового эфира глиоксиловой кислоты или диметоксиацетальдегида к 2-метилпента-1,3-диену [11, 21]. Хотя нет сведений о температуре реакционной смеси в экспериментах с применением МВИ и невозможно судить о действительной причине ускорения реакции, однако, интересен тот факт, что авторам указанных работ удалось получить с высокими выходами продукты **12** (смесь *цис*- и *транс*-изомеров, 75:25) при использовании МВИ очень низкой мощности (72 Вт). Лучшие показатели процесса (продолжительность, выход продукта) были достигнуты при микроволновом нагреве (таблица).

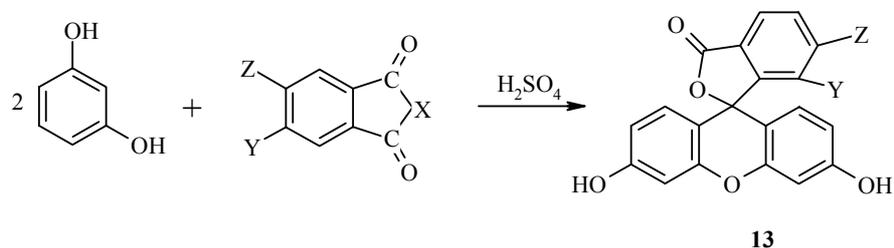


R	R <sup>1</sup>	Растворитель (катализатор)	Микроволновой нагрев			Обычный нагрев (140 °C)	
			Мощность излучения, Вт	t, мин*	Выход <b>12</b> , %	t, мин*	Выход <b>12</b> , %
CH(OMe) <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> OMe	Бензол (ZnCl <sub>2</sub> )	600	5	82	240	0
CH(OMe) <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> OMe	Вода (ZnCl <sub>2</sub> )	600	15	76	480	54
CH(OMe) <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> OMe	– (–)	600	15	54	600	48
CO <sub>2</sub> Me	CO <sub>2</sub> Me	– (–)	72	10	96	360	65
CO <sub>2</sub> Me	CO <sub>2</sub> Me	Вода (–)	72	8	80	180	82

\* t – Продолжительность реакции.

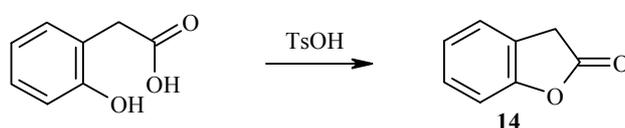
Синтез ксантеновых красителей **13** с выходами до 60% конденсацией

резорцина с ангидридами или амидами кислот в поле МВИ проходит в течение нескольких минут. При обычном нагреве (150–170 °С или температуре расплава в присутствии  $ZnCl_2$ ) продолжительность этой реакции составляет 5–6 ч [22].



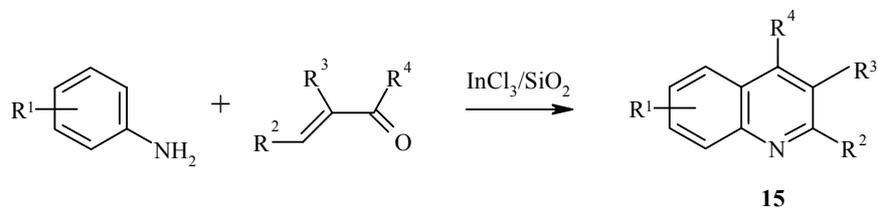
При  $X = O$ ;  $Y = Z = H$ ;  $Y = COOH$ ,  $Z = OH$ ;  $Y = COOH$ ,  $Z = H$ ;  $X = NMe$ ,  $Y = NH_2$ ,  $Z = H$ ;  
 $Y = Z = H$ ;  $Y = 6(5)-COOH$ ,  $Z = 5(6)-OH$ ;  $Y = 5(6)-COOH$ ,  $Z = H$ ;  $Y = 5(6)-NH_2$ ,  $Z = H$

Описан микроволновой синтез кумаран-2-она **14**, выход которого составил 85% [23].



## 2. СИНТЕЗ СОЕДИНЕНИЙ С N- ИЛИ S-ГЕТЕРОЦИКЛОМ

Предложены одностадийные методы синтеза хинолинов **15** [24] и полизамещенных пирролов **16** [25] с использованием МВИ на силикагеле без растворителя. Образование с высокими выходами (81–87%) продуктов **15** происходило в течение 1 мин.

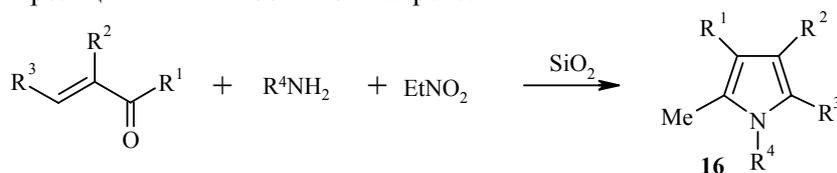


R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>	Выход <b>15</b> , % (МВИ, SiO <sub>2</sub> )	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>	Выход <b>15</b> , % (МВИ, SiO <sub>2</sub> )
H	H	H	Me	85	4-Cl	H	H	Me	80
2-Me*	H	H	Me	81	4-Br	H	H	Me	80
3-Me	H	H	Me	84	2-Me-4-I	H	H	Me	83
4-Me	H	H	Me	85	1-Нафтил	H	H	Me	82
2-OMe	H	H	Me	80	H	Me	H	<i>p</i> -MeOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	81
4-OMe	H	H	Me	83	3-Cl	Me	H	H	83
3-OH	H	H	Me	81	H	Pr	Me	Me	55
3-Cl	H	H	Me	87					

\* Здесь и далее указано положение R<sup>1</sup> в исходном соединении.

В аналогичных условиях выходы соединений **16** составили 60–72%, что

приблизительно вдвое превышало их выходы, достигнутые при проведении реакции в ТГФ и обычном нагреве.

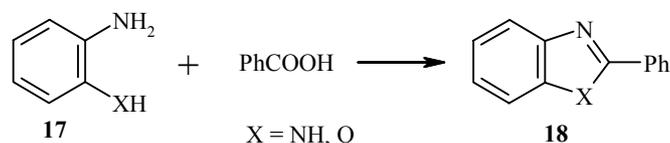


R <sup>1</sup> *	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>	Выход <b>16</b> , %	
			SiO <sub>2</sub> , МВИ	ТГФ, Δ
Ph	H	Bn	60	30
Ph	Ph	Bn	65	32
H	Me	<i>cyclo</i> -C <sub>6</sub> H <sub>11</sub>	60	32
Ph	H	PhCHMe	62	33
$\alpha$ -MeFur**	Me	Bn	72	40

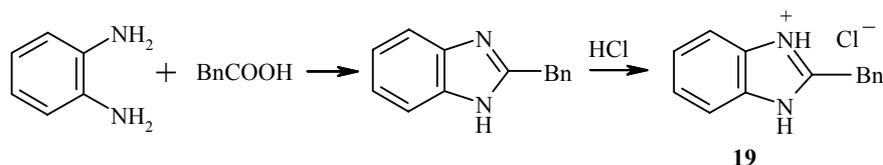
\* R<sup>2</sup> = H.

\*\* Fur = фурил.

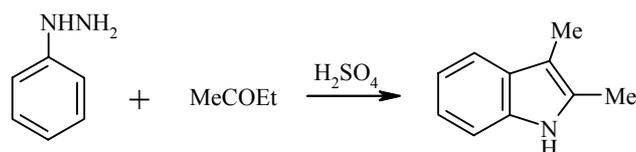
Гетероциклизация *o*-фенилендиамина и муравьиной кислоты проходит в микроволновом поле за 3 мин, при этом с выходом 70% образуется бензимидазол. Сравнимый выход последнего при обычном нагреве достигается за 3 ч [26]. Авторы работы [22] гетероциклизацией бензойной кислоты и *o*-фенилендиамина (**17**, X = NH) или *o*-аминофенола (**17**, X = O) провели синтез 2-фенилбензимидазола (**18**, X = NH) и 2-фенилбензоксазола (**18**, X = O), соответственно, в микроволновом поле, но выходы указанных продуктов за 2 мин микроволнового нагрева составили не более 16%.



В аналогичных условиях гетероциклизация *o*-фенилендиамина и фенилуксусной кислоты прошла более успешно: за 7 мин выход целевого продукта – гидрохлорида 2-бензилбензимидазола (**19**) – составил 79% [27].

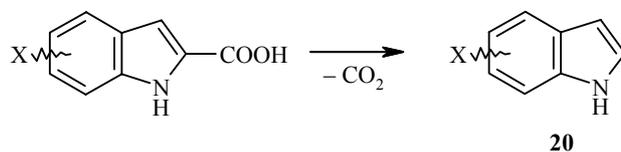


Использование МВИ позволило синтезировать 2,3-диметилиндол по методу Фишера с выходом 65% за 1 мин при 222 °С [8].



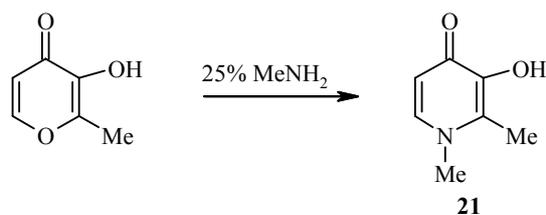
Синтез индолов типа **20** декарбоксилированием индол-2-карбоновой

кислоты и ее замещенных был успешно осуществлен в закрытой микроволновой системе. Продукты **20** получены с высокими выходами, причем продолжительность реакции была вдвое меньше по сравнению с нагревом на масляной бане [28].

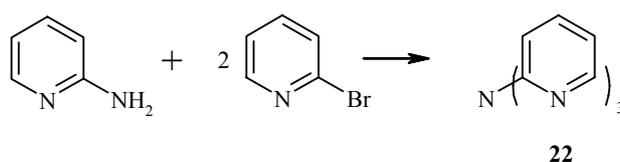


X	Выход индола <b>20</b> , %	X	Выход индола <b>20</b> , %
H	95	5-MeO	100
4-MeO	97	5-F	96
6-MeO	99	6-F	91

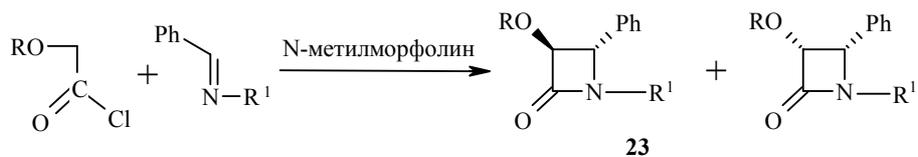
Синтез 3-гидрокси-1,2-диметилпиридин-4-она (**21**) в микроволновом реакторе непрерывного действия продолжался 1–3 мин. Выход чистого продукта **21** составил 65%. При обычном нагреве в течение 6 ч выход сырого продукта **21** составил 50% [8].



Примерно одинаковые невысокие выходы (15–20%) три(2-пиридил)-амина (**22**) были достигнуты и при микроволновом, и при термическом нагреве реагентов в этаноле. Однако для первого способа нагрева продолжительность реакции составила 6 мин, для второго – 16 ч [29].



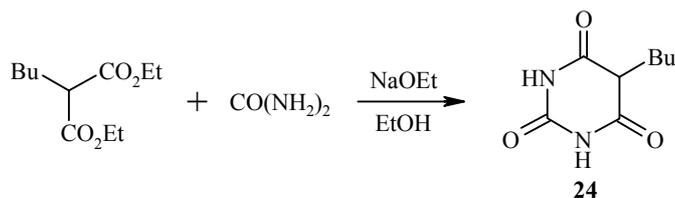
Авторы работ [30, 31] нашли не только эффективный способ получения β-лактамов **23** под воздействием микроволнового нагрева, но и обнаружили влияние на стереохимию этих продуктов мощности излучения. Так, при низкой мощности и, соответственно, температуре реакционной смеси преобладает *цис*-изомер, при высокой (112 °C) – *транс*-изомер β-лактама **23**.



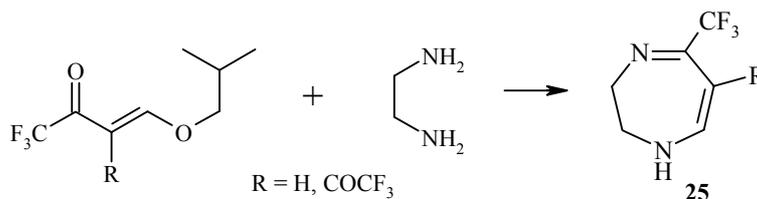
R = Bn, MeCO; R<sup>1</sup> = Me, Bn, (MeO)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>-*m,p*, (MeO)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>-*p*

Продолжительность реакции, мин	Т. реакции, °C	Выход <i>транс/цис</i> -изомеров β-лактама <b>23</b> (R = Bn, R <sup>1</sup> = Me), %
1	69	16 / 84
2	75	20 / 80
3	94	45 / 55
4	96	45 / 55
5	112	55 / 45

При воздействии МВИ осуществлен синтез замещенной барбитуровой кислоты **24**, выход которой составил 80% [32].

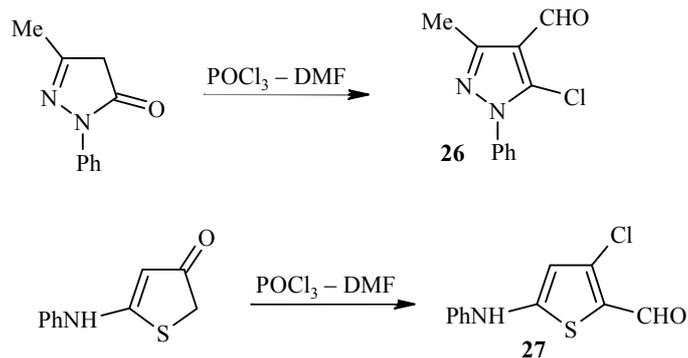


Описан микроволновой синтез diazepинов **25** с выходами 73–77% [33].

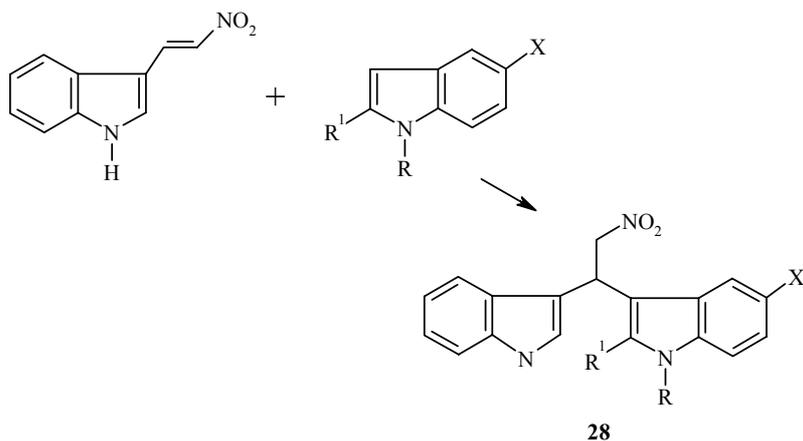


В этой же работе по аналогичной схеме с использованием *o*-фенилендиамина и его замещенных вместо этилендиамина получены с выходами 73–93% 12 производных хиноксалина.

Использование МВИ и силикагеля оказалось очень эффективным для проведения реакции Вильсмайера–Хаака. При этом ароматическое соединение и реагент Вильсмайера–Хаака (POCl<sub>3</sub>–ДМФА) наносились на предварительно активированный силикагель. Продукты **26** и **27** были получены в течение 1.5–2.5 мин с выходами 66 и 64% соответственно, значительно превышающими выходы, достигнутые при обычном нагреве [34].



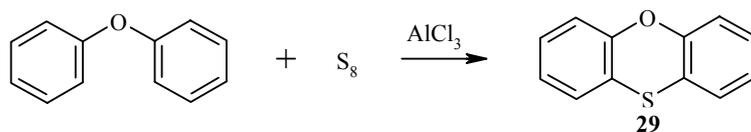
Предложен удобный способ синтеза содержащих два индольных фрагмента нитроэтанов **28** реакцией 3-(2-нитровинил)индола с индолом и его замещенными на силикагеле с МВИ, позволяющий в течение 7–8 мин получить продукты **28** с выходами 70–86%. При использовании обычного нагрева близкие выходы соединений **28** были достигнуты за 8–14 ч [35].



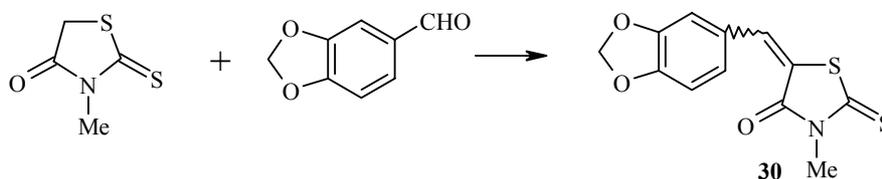
R = R' = H, R = X = H, R' = Me; R = Me, R' = H, X = H, Br; R = Et, R' = X = H; R = Me; R = *i*-Pr, R' = X = H

### 3. СИНТЕЗ СОЕДИНЕНИЙ С ЦИКЛОМ, ВКЛЮЧАЮЩИМ ДВА РАЗНЫХ ГЕТЕРОАТОМА

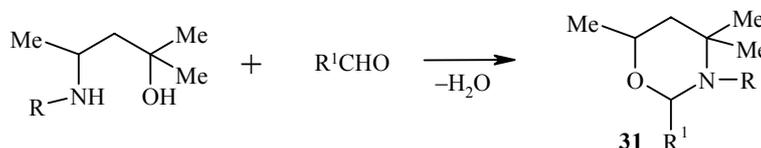
Известен ряд примеров применения МВИ в синтезе соединений, содержащих два разных гетероатома в цикле. Так, под действием микроволнового нагрева осуществлен синтез феноксатиина (**29**) с выходом 85% [36].



При нагреве с помощью МВИ конденсация N-метил-2-тиоксо-1,2,4-тиазазолидин-4-она с пипероналем на носителе KF или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> заканчивается через 20 мин и выход продукта **30** составляет 62%. Применение обычного нагрева позволило получить тот же продукт с выходом не более 20% за 5 мин [37].



Показано, что циклизация  $\gamma$ -аминоспиртов с различными альдегидами в микроволновом поле происходит в зависимости от вида заместителя в 2–10 раз быстрее, при этом выходы целевых продуктов **31** сравнимы с выходами, достигнутыми при обычном нагреве [38].



Рассмотренные в обзоре сведения о синтезе и превращениях гетероциклических соединений в условиях микроволнового нагрева убедительно свидетельствуют о том, что использование МВИ позволяет существенно сократить продолжительность процессов и повысить выход целевых продуктов.\*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пробоподготовка в микроволновых печах: Теория и практика*: Пер. с англ., под. ред. Г. М. Кингстона, Л. Б. Джесси, Мир, Москва, 1991.
2. Д. Л. Рахманкулов, С. Ю. Шавшукова, И. Р. Мамлеев, Ф. Н. Латыпова, *Материалы II Междунар. науч. конф. "История науки и техники-2001"*, Гос. изд-во Реактив, Уфа, 2002, с. 34.
3. Д. Л. Рахманкулов, С. Ю. Шавшукова, Ф. Н. Латыпова, В. В. Зорин, *Журн. прикл. химии*, **75**, 1409 (2002).
4. R. A. Abramovitch, *Org. Prep. Proced. Int.*, **23**, 683 (1991).
5. P. Lindstrom, J. Tierney, B. Wathey, J. Westman, *Tetrahedron*, **57**, 9225 (2001).
6. С. С. Бердоносков, *Соросовский образовательный журн.*, 12 (2001).
7. D. M. P. Mingos, D. R. Baghurst, *Chem. Soc. Rev.*, **20**, 1 (1991).
8. C. R. Strauss, R. W. Triano, *Austral. J. Chem.*, **48**, 1665 (1995).
9. T. Cablewski, A. F. Faux, C. R. Strauss, *J. Org. Chem.*, **59**, 3408 (1994).

\* О микроволновом синтезе и превращениях гетероциклических соединений см. также книги и цитированную в них литературу:

*Microwaves in Organic Synthesis*, A. Loupy, (Ed.), Wiley-VCH, Weinheim, 2002.  
*Microwave Assisted Organic Synthesis*, J. P. Tierney, P. Lidström (Eds.), Blackwell

Publishing, CRC Press, 2005, 280 p. (Дополнение главного редактора).

10. И. Х. Бикбулатов, Р. Р. Даминев, Н. С. Шулаев, С. Н. Шулаев, Пат. РФ № 2116826; БИ № 22, 3 (1998).
11. A. Loupu, *Spectra Anal.*, **22** (175), 33 (1993); *Chem. Abstr.*, **121**, 82075 (1994).
12. В. В. Зорин, С. И. Масленников, С. Ю. Шавшукова, Ф. А. Шахова, Д. Л. Рахманкулов, *ЖОрХ*, **34**, 768 (1998).
13. Сьюй Бо, С. С. Вершинин, В. В. Зорин, Д. Л. Рахманкулов, в кн. *Тез. докл. XV Науч. техн. конф. "Химические реактивы, реагенты и продукты малотоннажной химии"*, Гос. изд-во Реактив, Уфа, 2002, с. 46.
14. Сьюй Бо, С. С. Вершинин, В. В. Зорин, Р. С. Мусавилов, Д. Л. Рахманкулов, *Башкир. хим. журн.*, **9**, 42 (2002).
15. Э. Д. Рахманкулов, Ф. Н. Латыпова, в кн.: *Тез. докл. XIII Междунар. науч. техн. конф. "Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии"*, Изд-во Тульского гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, Тула, 2000, с. 39.
16. S. Chandrasekhar, B. V. Subba Reddy, *Synlett*, 851 (1998).
17. F. M. Moghaddam, A. Sharifi, *Synth. Commun.*, **25**, 2457 (1995).
18. J. Kalita Dipok, Boran Ruli, C. Sarma Jabad, *Tetrahedron Lett.*, **39**, 4573 (1998).
19. А. К. Банержи, М. С. Лайа Мимо, В. Х. Вера Вегас, *Успехи химии*, **70**, 1094 (2001).
20. E. R. Perez, A. L. Marrero, R. Perez, M. A. Autie, *Tetrahedron Lett.*, **36**, 1779 (1995).
21. A. Stambouli, M. Chastrette, M. Soufiaoui, *Tetrahedron Lett.*, **32**, 1723 (1991).
22. А. В. Ельцов, В. П. Мартынова, Н. Б. Соколова, Н. М. Дмитриева, А. С. Брыков, *ЖОХ*, **65**, 511 (1995).
23. P. Gongalo, C. Roussel, J. M. Melot, J. Verbel, *J. Chem. Soc., Perkin Trans*, **2**, 2111 (1999).
24. B. C. Ranu, A. Hajra, U. Jana, *Tetrahedron Lett.*, **41**, 531 (2000).
25. B. C. Ranu, A. Hajra, U. Jana, *Synlett*, 75 (2000).
26. A. K. Bose, M. S. Manhas, M. Ghosh, V. S. Raju, K. Tabei, Z. Urbanczuk-Lipkowska, *Heterocycles*, **30**, 741 (1990).
27. А. В. Ельцов, Н. Б. Соколова, Н. М. Дмитриева, А. Д. Григорьев, А. С. Иванов, *ЖОХ*, **69**, 1367 (1999).
28. G. B. Jones, B. J. Chapmen, *J. Org. Chem.*, **58**, 5558 (1993).
29. M. Ali, S. P. Bond, S. A. Mbogo, W. R. McWhinnie, P. M. Watts, *J. Organomet. Chem.*, **371**, 11 (1989).
30. A. K. Bose, B. K. Banik, M. S. Manhas, *Tetrahedron Lett.*, **36**, 213 (1995).
31. B. K. Banik, M. S. Manhas, E. W. Robb, A. K. Bose, *Heterocycles*, **44**, 405 (1997).
32. G. Majetich, R. Hicks, *Radiat. Phys. Chem.*, **45**, 567 (1995).
33. A. C. S. Reddy, P. C. Rao, R. V. Venkataraman, *Tetrahedron Lett.*, **37**, 2845 (1996).
34. S. Paul, M. Gupta, R. Gupta, *Synlett*, 1115 (2000).
35. M. Chakrabarty, R. Basak, N. Ghosh, *Tetrahedron Lett.*, **42**, 3913 (2001).
36. D. Villemin, X. Vlieghe, *Sulfur Lett.*, **21**, 199 (1998).
37. A. Alloum, B. Labaid, D. J. Villemin, *Chem. Soc., Chem. Commun.*, 386 (1989).
38. Э. Д. Рахманкулов, Ф. Н. Латыпова, в кн.: *Тез. докл. XII Междуна. науч. техн. конф.*, Гос. изд-во Реактив, Уфа, 1998, с. 141.

Научно-исследовательский институт  
малотоннажных химических продуктов  
и реактивов, Уфа 450062, Россия

Поступило в редакцию 18.02.2003  
После доработки 16.12.2004

<sup>a</sup> Уфимский государственный нефтяной  
технический университет, Уфа 450062,  
Россия  
e-mail: reaktiv 2003@mail.ru