

О. В. Петрова, Л. Н. Собенина, А. И. Михалева\*

**3-АЛКИЛ-1-ВИНИЛ-2-ФЕНИЛПИРРОЛЫ  
ИЗ КЕТОКСИМОВ И АЦЕТИЛЕНА:  
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ  
СИНТЕЗ ПО РЕАКЦИИ ТРОФИМОВА**

На основе реакции оксимов алкилфенилкетонров с ацетиленом в системе КОН–ДМСО (реакции Трофимова) разработан одnoreакторный синтез 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов, протекающий при атмосферном давлении с высокими выходами.

**Ключевые слова:** 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролы, алкилфенилкетоксимы, ацетилен, реакция Трофимова.

Возрастающий в последние десятилетия интерес к химии пирролов обусловлен возможностью синтезировать на их основе новые лекарственные препараты [1, 2], электро- и фотопроводящие материалы [3, 4].

Присутствие винильной группы в структуре производных пиррола увеличивает их синтетический потенциал [5, 6], позволяет получать уникальные полимеры – электропроводящие материалы [7–9] и органические металлы для преобразования солнечной энергии и записи информации [10], сорбенты благородных металлов [11, 12], биологически активные вещества и средства защиты растений [13], модификаторы полимеров и полимерные азокрасители [14, 15]. Полимеры на основе 1-винилпирролов с арильными заместителями недавно предложены в качестве высокоэффективных люминесцентных материалов с улучшенным переносом энергии, что может быть использовано в дизайне электролюминесцентных устройств [16].

Введение алкильных радикалов различной длины, особенно длинноцепочечных, в положение 3 1-винил-2-фенилпирролов даёт возможность контролировать диэдрические углы между плоскостями винильной группы, бензольного и пиррольного колец и тем самым изменять степень сопряжения, а, стало быть, нано-, микро- и макрохарактеристики оптоэлектронных материалов на их основе.

Поэтому разработка новых простых и эффективных методов получения 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов остаётся актуальной задачей.

Наиболее распространёнными методами синтеза 1-винилпирролов являются кросс-циклизация кетоксимов и ацетилена с последующим винилированием образующихся пирролов в системе КОН–ДМСО по реакции Трофимова [5, 17–20], присоединение пирролов к ацетиленам [21] и реакции замещения функциональных групп при двойной связи в алкенах [22].

В частности, 1-винил-3-пентил- и 1-винил-3-нонил-2-фенилпирролы получены из соответствующих алкилфенилкетоксимов и ацетилена (КОН–ДМСО, 100 °С, 3 ч, начальное давление ацетилена 12–14 атм) [23].

Реакция протекает через образование промежуточных 3-алкил-2-фенилпирролов, которые далее в том же реакторе винилируются до 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов. Отличительной особенностью этого варианта синтеза было использование ацетилена под давлением в автоклаве (началь-

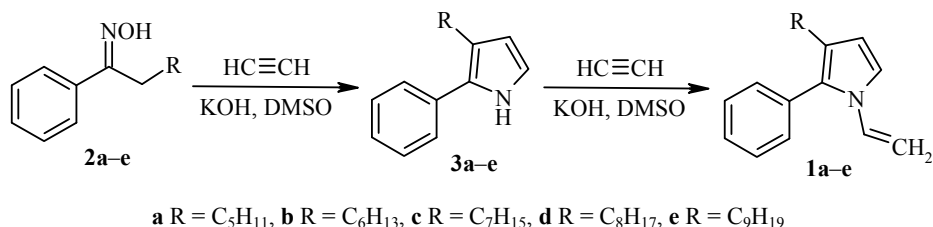
ное давление ацетилена при комнатной температуре составляло 12–14 атм, а при температуре реакции достигало 25–30 атм), что, вследствие повышенной опасности, делало процесс труднореализуемым в производстве. Кроме того, трудоёмкая многостадийная очистка целевых 1-винилпирролов с применением больших количеств пожаро- и взрывоопасного диэтилового эфира препятствует использованию этого способа в промышленном масштабе. Также серьёзный недостаток данного метода – необходимость разбавления реакционной смеси водой, что приводит к образованию больших объёмов щелочных водно-диметилсульфоксидных растворов и безвозвратной потере ДМСО (регенерация разбавленных водных растворов ДМСО энергоёмка).

Снижение температуры реакции до 50–70 °С [24] приводит к 1-винилпирролам с выходами лишь 6–20%. Процесс отличается неселективностью и в ряде случаев наблюдается неполная конверсия исходных кетоксимов (~60%), что также препятствует использованию этого метода для синтеза 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов в промышленном объёме.

Очевидные преимущества реакции Трофимова (одна препаративная операция, доступность исходных веществ и катализаторов) делают метод [5, 23] наиболее перспективным для дальнейшего усовершенствования.

В настоящей статье обсуждаются особенности новой модификации этой реакции, ставшие основой разработанного метода. В промышленности строго регламентируются процессы, базирующиеся на использовании ацетилена под давлением. Поэтому давление становится ключевым параметром, когда встаёт вопрос о технологизации той или иной реакции с участием ацетилена.

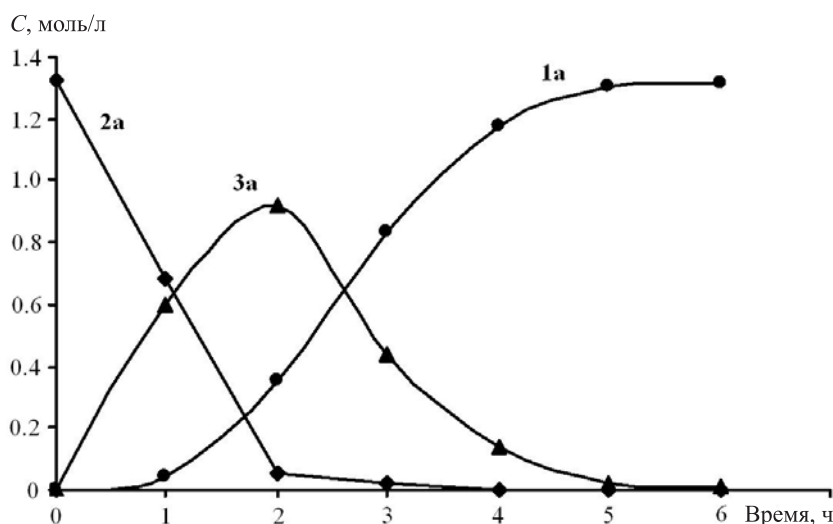
Наши исследования завершились разработкой условий, в которых синтез 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов **1a–e** можно осуществлять при атмосферном давлении ацетилена.



Новая модификация синтеза пирролов **1a–e** включает:

- 1) проведение реакции при атмосферном давлении ацетилена (проточная система);
- 2) снижение концентрации гидроксида калия в реакционной среде: 0.35–1.0 вместо 1.30–1.84 моль/л [23];
- 3) повышение концентрации алкилфенилкетоксима в реакционной среде от 1.0 [23] до 1.30 моль/л, что позволяет снизить количество использованного ДМСО;
- 4) новый способ выделения целевого продукта – отгон ДМСО из реакционной смеси в вакууме и последующая вакуумная дистилляция остатка. Таким образом решается проблема регенерации ДМСО.

Проведение реакции при атмосферном давлении ацетилена позволяет существенно упростить технологическую схему и аппаратное оформление и принципиально повысить безопасность процесса.



Изменение концентрации гексилфенилкетоксима (**2a**), 3-пентил-2-фенилпиррола (**3a**) и 1-винил-3-пентил-2-фенилпиррола (**1a**) в ходе реакции (16% КОН от массы кетоксима, 130 °С)

Контроль за ходом синтеза 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов **1a–e** осуществлялся методом отбора проб из реакционной смеси через определённые промежутки времени. На рисунке приведены кривые изменения концентрации в реакционной смеси исходного кетоксима **2a** и продуктов реакции пиррола **3a** и 1-винилпиррола **1a**. Характер этих кривых соответствует процессу с двумя последовательными реакциями: с уменьшением концентрации кетоксима **2a** растёт концентрация пиррола **3a**, достигает максимума и начинает снижаться, при этом нарастает концентрация 1-винилпиррола **1a** – продукта винилирования пиррола **3a**.

В целом усовершенствованный синтез 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов **1a–e** осуществляется следующим образом: через нагретый до 130 °С ДМСО, содержащий соответствующий оксим **2a–e** (концентрация 1.30 моль/л) и КОН в количестве 16% от массы оксима, пропускается ацетилен со скоростью, обеспечивающей его конверсию 90–100%, предпочтительно 95%. Через 5–7 ч после практически полного превращения промежуточного 3-алкил-2-фенилпиррола **3a–e** (конверсия 94–98%) в целевой 1-винилпиррол **1a–e** подача ацетилена прекращается, реакционная смесь охлаждается, перегонкой в вакууме выделяют ДМСО и 1-винилпиррол **1a–e**. ДМСО после азеотропной осушки снова может быть использован в процессе. Выходы 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов составляют 55–82% в зависимости от строения алкилфенилкетоксимов, хроматографическая чистота продуктов 97.9–99.6%, повторной перегонкой достигается хроматографическая чистота 99.9%, что, как правило, достаточно для использования в качестве мономеров в полимеризации.

Реакции алкилфенилкетоксимов с ацетиленом при температуре ниже 120 °С и количества КОН менее 8% от массы оксима протекают, как правило, с неполной конверсией оксимов, приводя в основном к промежуточным NH-пирролам **3a–e**, тогда как 1-винилпирролы **1a–e** образуются в небольших количествах.

Улучшение препаративных характеристик синтеза 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов **1a–e** очевидно.

Во-первых, достигается практически полная селективность синтеза целевых продуктов. Обычно соответствующие невинилированные NH-пирролы, всегда в той или иной степени сопровождающие 1-винилпирролы при их синтезе из кетоксимов и ацетилена, в данном случае образуются лишь в следовом количестве (1–2%).

Во-вторых, снижение давления ацетилена до атмосферного делает процесс безопасным и легко реализуемым. Дополнительная безопасность нового синтеза достигается устранением пожаро- и взрывоопасного экстрагента – диэтилового эфира.

Синтез становится более экологически безопасным: значительно сокращаются объёмы водно-щелочных отходов, содержащих ДМСО, а также небольшие количества исходных и конечных продуктов реакции. Растворитель (ДМСО) легко регенерируется прямой дистилляцией из реакционной смеси. Выделяемые дистилляцией 1-винилпирролы **1a–e** характеризуются повышенной чистотой. В кубе остается катализатор (КОН), который может использоваться далее.

Подчеркнём, что разработанная модификация синтеза 1-винилпирролов **1a–e** представляет собой изменение не какой-то одной характеристики процесса, а всего комплекса условий, включая выделение и очистку целевых продуктов. Ни одна из изменённых характеристик в отдельности не обеспечивает достигнутого эффекта.

Таким образом, разработанный синтез принципиально повышает доступность 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов не только в лабораторных условиях, но и делает их получение технологически реальным.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры зарегистрированы на спектрометре Bruker ISF-25 (тонкий слой). Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  записаны на спектрометре Bruker DPX-400 (400 и 100 МГц соответственно) в  $\text{CDCl}_3$ , внутренний стандарт ГМДС ( $\delta$  0.05 м. д.). Контроль за чистотой полученных 1-винилпирролов **1a–e** осуществлялся методом ГЖХ на приборе Agilent Technologies 6890N. Исходные кетоксимы **2a–e** получены по методике [25].

**Синтез 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролов 1a–e** (общая методика). Смесь 25 мл ДМСО, 33 ммоль алкилфенилкетоксима **2a–e** и КОН в количестве 16% от массы оксима в пересчёте на коммерческий 86% КОН нагревают (130 °С) при перемешивании и барботируют ацетилен со скоростью ~45–50 мл/мин. Контроль за ходом реакции осуществляют методом ГЖХ путём отбора проб через 1 ч. Через 7 ч из реакционной смеси фракционированием в вакууме выделяют 3-алкил-1-винил-2-фенилпирролы **1a–e** и ДМСО.

**3-Пентил-1-винил-2-фенилпиррол (1a)**. Выход 6.48 г (82%), т. кип. 144–145 °С (1–2 мм рт. ст.) совпадает с литературными данными [5, 23]. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1318 (C–N), 1641 (CH=CH<sub>2</sub>), 3082 (=CH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 0.82 (3H, т,  $J = 6.6$ , CH<sub>3</sub>); 1.23–1.25 (4H, м, (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>); 1.46–1.53 (2H, м, R<sub>up</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>); 2.35 (2H, т,  $J = 7.9$ , R<sub>up</sub>CH<sub>2</sub>); 4.48 (1H, д,  $J = 7.9$ , H<sub>B</sub>); 5.00 (1H, д,  $J = 15.8$ , H<sub>A</sub>); 6.19 (1H, д,  $J = 3.2$ , H-4); 6.65 (1H, д,  $J = 7.9$ ,  $J = 15.8$ , H<sub>X</sub>); 7.03 (1H, д,  $J = 3.2$ , H-5); 7.23–7.27 (2H, м, H-2,6 Ph); 7.30–7.34 (1H, м, H-4 Ph); 7.37–7.41 (2H, м, H-3,5 Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 14.1 (CH<sub>3</sub>); 22.6, 26.0, 31.0, 31.7 ((CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>); 96.8 (=CH<sub>2</sub>); 110.6 (C-4); 116.2 (C-5); 124.0 (C-3); 127.4 (*p*-C); 128.2 (*o*-C); 130.3 (C-2); 131.1 (*m*-C); 132.0 (*i*-C, N–CH=).

**1-Винил-3-гексил-2-фенилпиррол (1b)**. Выход 5.35 г (64%), т. кип. 157–158 °С (2–3 мм рт. ст.) совпадает с литературными данными [23]. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1319 (C–N), 1641 (CH=CH<sub>2</sub>), 3083 (=CH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 0.82 (3H, т,

$J = 7.0$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.17–1.26 (6H, м,  $(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ ); 1.45–1.54 (2H, м,  $\text{RuprCH}_2\text{CH}_2$ ); 2.36 (2H, т,  $J = 7.8$ ,  $\text{RuprCH}_2$ ); 4.48 (1H, д,  $J = 8.8$ ,  $\text{H}_B$ ); 5.01 (1H, д,  $J = 15.7$ ,  $\text{H}_A$ ); 6.19 (1H, д,  $J = 2.9$ , H-4); 6.65 (1H, д, д,  $J = 8.8$ ,  $J = 15.7$ ,  $\text{H}_X$ ); 7.02 (1H, д,  $J = 2.9$ , H-5); 7.23–7.27 (2H, м, H-2,6 Ph); 7.30–7.34 (1H, м, H-4 Ph); 7.37–7.41 (2H, м, H-3,5 Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 14.1 ( $\text{CH}_3$ ); 22.7, 26.1, 29.2, 31.3, 31.8 ( $(\text{CH}_2)_5$ ); 96.7 ( $=\text{CH}_2$ ); 110.6 (C-4); 116.2 (C-5); 124.0 (C-3); 127.3 (*p*-C); 128.2 (*o*-C); 130.3 (C-2); 131.1 (*m*-C); 131.9 (*i*-C, N–CH=).

**1-Винил-3-гептил-2-фенилпиррол (1c).** Выход 5.56 г (63%), т. кип. 160–161 °С (1–2 мм рт. ст.) совпадает с литературными данными [23]. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1318 (C–N), 1641 ( $\text{CH}=\text{CH}_2$ ), 3083 ( $=\text{CH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 0.83 (3H, т,  $J = 7.1$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.17–1.25 (8H, м,  $(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ ); 1.45–1.53 (2H, м,  $\text{RuprCH}_2\text{CH}_2$ ); 2.36 (2H, т,  $J = 7.8$ ,  $\text{RuprCH}_2$ ); 4.50 (1H, д,  $J = 8.9$ ,  $\text{H}_B$ ); 5.02 (1H, д,  $J = 15.8$ ,  $\text{H}_A$ ); 6.18 (1H, д,  $J = 2.7$ , H-4); 6.66 (1H, д, д,  $J = 8.9$ ,  $J = 15.8$ ,  $\text{H}_X$ ); 7.03 (1H, д,  $J = 2.7$ , H-5); 7.21–7.27 (2H, м, H-2,6 Ph); 7.29–7.33 (1H, м, H-4 Ph); 7.36–7.41 (2H, м, H-3,5 Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 14.2 ( $\text{CH}_3$ ); 22.7, 26.0, 29.3, 29.5, 31.3, 31.9 ( $(\text{CH}_2)_6$ ); 96.7 ( $=\text{CH}_2$ ); 110.5 (C-4); 116.2 (C-5); 123.9 (C-3); 127.3 (*p*-C); 128.2 (*o*-C); 130.3 (C-2); 131.0 (*m*-C); 131.9 (*i*-C, N–CH=).

**1-Винил-3-октил-2-фенилпиррол (1d).** Выход 5.11 г (55%), т. кип. 166–167 °С (1–2 мм рт. ст.) совпадает с литературными данными [23]. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1318 (C–N), 1641 ( $\text{CH}=\text{CH}_2$ ), 3083 ( $=\text{CH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 0.84 (3H, т,  $J = 7.0$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.20–1.24 (10H, м,  $(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$ ); 1.45–1.52 (2H, м,  $\text{RuprCH}_2\text{CH}_2$ ); 2.36 (2H, т,  $J = 7.8$ ,  $\text{RuprCH}_2$ ); 4.50 (1H, д,  $J = 8.7$ ,  $\text{H}_B$ ); 5.02 (1H, д,  $J = 15.9$ ,  $\text{H}_A$ ); 6.18 (1H, д,  $J = 2.6$ , H-4); 6.66 (1H, д, д,  $J = 8.7$ ,  $J = 15.9$ ,  $\text{H}_X$ ); 7.03 (1H, д,  $J = 2.6$ , H-5); 7.23–7.27 (2H, м, H-2,6 Ph); 7.30–7.33 (1H, м, H-4 Ph); 7.37–7.41 (2H, м, H-3,5 Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 14.2 ( $\text{CH}_3$ ); 22.7, 26.0, 29.3, 29.5, 29.6, 31.3, 31.9 ( $(\text{CH}_2)_7$ ); 96.7 ( $=\text{CH}_2$ ); 110.5 (C-4); 116.2 (C-5); 123.9 (C-3); 127.3 (*p*-C); 128.2 (*o*-C); 130.3 (C-2); 131.0 (*m*-C); 131.9 (*i*-C, N–CH=).

**1-Винил-3-нонил-2-фенилпиррол (1e).** Выход 5.36 г (55%), т. кип. 170–171 °С (1 мм рт. ст.) совпадает с литературными данными [5, 23]. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1318 (C–N), 1641 ( $\text{CH}=\text{CH}_2$ ), 3083 ( $=\text{CH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 0.85 (3H, т,  $J = 7.0$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.20–1.24 (12H, м,  $(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$ ); 1.45–1.52 (2H, м,  $\text{RuprCH}_2\text{CH}_2$ ); 2.36 (2H, т,  $J = 7.8$ ,  $\text{RuprCH}_2$ ); 4.50 (1H, д,  $J = 8.8$ ,  $\text{H}_B$ ); 5.01 (1H, д,  $J = 15.6$ ,  $\text{H}_A$ ); 6.19 (1H, д,  $J = 2.8$ , H-4); 6.66 (1H, д, д,  $J = 8.8$ ,  $J = 15.6$ ,  $\text{H}_X$ ); 7.03 (1H, д,  $J = 2.8$ , H-5); 7.24–7.27 (2H, м, H-2,6 Ph); 7.30–7.34 (1H, м, H-4 Ph); 7.37–7.41 (2H, м, H-3,5 Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 14.2 ( $\text{CH}_3$ ); 22.8, 26.1, 29.4, 29.5, 29.6, 29.8, 31.3, 31.9 ( $(\text{CH}_2)_8$ ); 96.8 ( $=\text{CH}_2$ ); 110.5 (C-4); 116.3 (C-5); 124.0 (C-3); 127.4 (*p*-C); 128.2 (*o*-C); 130.3 (C-2); 131.1 (*m*-C); 132.0 (*i*-C, N–CH=).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (грант НШ 1550.2012.3).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. W. Gribble, in *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II*, A. R. Katritzky, C. W. Rees, E. F. V. Scriven (Eds.), Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt, 1996, vol. 2, p. 207.
2. L. C. López Cara, M. E. Camacho, M. D. Carrión, V. Tapias, M. A. Gallo, G. Escames, D. Acuña-Castroviejo, A. Espinosa, A. Entrena, *Eur. J. Med. Chem.*, **44**, 2655 (2009).
3. Р. Д. Стрэмел, РФ Пат. 2046414; *Бюл. изобрет.*, № 29, 264 (1995).
4. D. Ofer, R. M. Crooks, M. S. Wrighton, *J. Am. Chem. Soc.*, **112**, 7869 (1990).
5. Б. А. Трофимов, А. И. Михалева, *N-Винилпирролы*, Наука, Новосибирск, 1984, с. 106–167.
6. B. A. Trofimov, A. I. Mikhaleva, E. Yu. Schmidt, L. N. Sobenina, *Adv. Heterocycl. Chem.*, **99**, 209 (2010).
7. C. J. DuBois, Jr., R. L. McCarley, *J. Electroanal. Chem.*, **454**, 99 (1998).

8. S. C. Yang, W. Li, US Pat. Appl. 6803446.
9. Б. А. Трофимов, Л. В. Морозова, И. Л. Филимонова, А. И. Михалева, С. Е. Коростова, А. с. СССР 997540.
10. Л. В. Морозова, А. И. Михалева, С. Е. Коростова, И. Л. Филимонова, в кн. *Электроника органических материалов*, под ред. А. А. Овчинникова, Наука, Москва, 1985, с. 305.
11. Л. В. Морозова, М. В. Маркова, А. И. Михалева, И. П. Голентовская, Л. П. Шаулина, *Журн. прикл. химии*, 2022 (1990).
12. Л. В. Морозова, А. И. Михалева, И. П. Голентовская, Л. П. Шаулина, М. В. Маркова, Б. А. Трофимов, *Изв. СО АН СССР, Сер. хим. наук*, 109 (1990).
13. Л. В. Морозова, А. И. Михалева, М. В. Маркова, О. Ю. Молчанов, Т. В. Пуган, в кн. *Химия и применение пестицидов*, Труды ВНИИХим средств защиты растений, Москва, 1990, с. 7.
14. B. A. Trofimov, E. Yu. Schmidt, A. I. Mikhaleva, A. M. Vasil'tsov, A. B. Zaitsev, N. S. Smolyanina, E. Yu. Senotrusova, A. V. Afonin, I. A. Ushakov, K. B. Petrushenko, O. N. Kazheva, O. A. Dyachenko, V. V. Smirnov, A. F. Schmidt, M. V. Markova, L. V. Morozova, *Eur. J. Org. Chem.*, 4021 (2006).
15. Б. А. Трофимов, М. В. Маркова, Л. В. Морозова, Е. Ю. Шмидт, Е. Ю. Сено-трусова, Г. Ф. Мячина, Ю. А. Мячин, Т. И. Вакульская, А. И. Михалева, *Высокомолекуляр. соединения*, **49 Б**, 2200 (2007).
16. J.-J. Park, B.-K. Choi, T.-Y. Noh, O.-H. Kwon, M.-S. Kim, Y.-J. Kim, S.-H. Hyun, B. A. Trofimov, US Pat. Appl. 20110253994.
17. R. J. Tedeschi, in *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 3rd ed., R. A. Meyers (Ed.), Acad. Press, San Diego, 2004, vol. 1, p. 55.
18. *The Chemistry of Hydroxylamines, Oximes and Hydroxamic Acids*, Z. Rappoport, J. F. Liebman (Eds.), Wiley, Chichester, 2008, p. 241.
19. Z. Wang, in *Comprehensive Organic Name Reactions and Reagents*, Z. Wang (Ed.), Wiley, London, 2009, pt 3, p. 2793.
20. G. J. Tanoury, in *Name Reactions in Heterocyclic Chemistry II*, Jie Jack Li (Ed.), John Wiley & Sons, Hoboken, 2011, p. 72.
21. B. A. Trofimov, in *Pyrroles, Part II: The Synthesis, Reactivity, and Physical Properties of Substituted Pyrroles*, R. A. Jones (Ed.), Wiley, New York, 1992, vol. 48, p. 131.
22. B. A. Trofimov, N. A. Nedolya, in *Comprehensive Heterocyclic Chemistry III*, A. R. Katritzky, C. A. Ramsden, E. F. V. Scriven, R. J. K. Taylor (Eds.), Elsevier, Oxford, 2008, vol. 3, p. 45.
23. Б. А. Трофимов, С. Е. Коростова, Л. Н. Балабанова, А. И. Михалева, *Журн. орган. химии*, **14**, 2182 (1978).
24. С. Е. Коростова, А. И. Михалева, Л. Н. Собенина, С. Г. Шевченко, В. В. Щербаков, *ХГС*, 1501 (1985). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **21**, 1238 (1985).]
25. Г. Либ, В. Шенигер, *Синтез органических препаратов из малых количеств веществ*, Госхимиздат, Ленинград, 1957, с. 130.

Иркутский институт химии  
им. А. Е. Фаворского СО РАН,  
ул Фаворского, 1, Иркутск 664033, Россия  
e-mail: sobenina@iriocch.irk.ru

Поступило 5.04.2012