

ХИМИЯ

УДК 547.592.13+547.594.3

Н. Г. ВАСИЛЬЕВА, И. И. ПЕТРУСЕВИЧ, Т. С. ХЛЕБНИКОВА, академик Ф. А. ЛАХВИЧ

СИНТЕЗ 2-АЦИЛЦИКЛОПЕНТАН-1,3-ДИОНОВ С НАСЫЩЕННОЙ C₉-C₂₂ АЦИЛЬНОЙ ЦЕПЬЮИнститут биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь
ogeikovas@gmail.com; khlebnicova@iboch.bas-net.by; lakhvich@iboch.bas-net.by

Описан синтез новых 2-ацилциклопентан-1,3-дионов с насыщенной C₉-C₁₂ ацильной цепью О-ацилированием циклопентан-1,3-диона хлорангидридами соответствующих карбоновых кислот в присутствии пиридина в хлороформе с последующей О-С-изомеризацией образующихся енолацилатов под действием ацетонциангидрина в среде ацетонитрила в присутствии триэтиламина.

Ключевые слова: циклопентан-1,3-дион, О-ацилирование, енолацилаты, О-С-изомеризация, 2-ацилциклопентан-1,3-дионы, β-трикетоны.

N. H. VASILYEVA, I. I. PETRUSEVICH, T. S. KHLEBNICOVA, F. A. LAKHVICH

SYNTHESIS OF 2-ACYLCYCLOPENTANE-1,3-DIONES WITH A SATURATED C₉-C₁₂ ACYL CHAINInstitute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
ogeikovas@gmail.com; khlebnicova@iboch.bas-net.by; lakhvich@iboch.bas-net.by

The synthesis of new 2-acylcyclopentane-1,3-diones with a saturated C₉-C₁₂ acyl chain was described. The compounds were synthesized by the O-acylation of cyclopentane-1,3-dione with appropriate acyl chlorides in the presence of pyridine in chloroform, followed by the O-C-isomerization of the prepared enol acylates under the action of acetone cyanohydrin in acetonitrile in the presence of triethylamine.

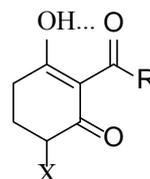
Keywords: cyclopentane-1,3-dione, O-acylation, enol acylates, O-C-isomerization, 2-acylcyclopentane-1,3-diones, β-triketones.

Циклические β-трикетоны (2-ацилциклогексан-1,3-дионы и 2-ацилциклопентан-1,3-дионы) и близкие им по структуре ацилфлороглюцины, флавоноиды и изофлавоноиды составляют огромную группу природных поликетидов, продуцируемых растениями, микроорганизмами, насекомыми и проявляющих широкий спектр биологической активности [1–5]. Многие из этих соединений и их синтетических производных нашли применение в качестве агрохимических и фармацевтических препаратов [6–8].

С другой стороны, полифункциональность и высокая реакционная способность указанных соединений обеспечивают богатые возможности для их модификации и использование в качестве весьма универсальных синтетических блоков (синтонов) для получения других классов биологически активных веществ (стероидов, простагландинов, антибиотиков, феромонов и кайромонов насекомых и т. д.) [9–13].

Систематические исследования в этом направлении ведутся в Институте биоорганической химии НАН Беларуси.

Ранее нами описан синтез целого ряда выделенных из насекомых 2-ацилциклогексан-



X = H, OH; R = углеводородный фрагмент (C₁₁-C₁₇) насыщенных, моно- и диеновых карбоновых кислот

Рис. 1. 2-Ацилциклогексан-1,3-дионы с C₁₂-C₁₈ боковой ацильной цепью

1,3-дионон (рис. 1), на основе которых были созданы экологически безопасные феромонные ловушки для борьбы с вредителями плодово-ягодных культур и продовольственных запасов [14].

С целью поиска новых биологических соединений осуществлен синтез ранее неизвестных 2-ацилциклопентан-1,3-диононов с насыщенной C_9-C_{22} ацильной цепью. О-Ацилированием циклопентан-1,3-дионона (**1**) хлорангидридами соответствующих кислот (**2**) в присутствии пиридина в хлороформе с последующей О-С-изомеризацией полученных енолацилатов (**3а-и**) под действием ацетонциангидрина в среде ацетонитрила в присутствии триэтиламина при комнатной температуре синтезированы целевые β -трикетоны циклопентанового ряда (**4а-и**) (рис. 2).

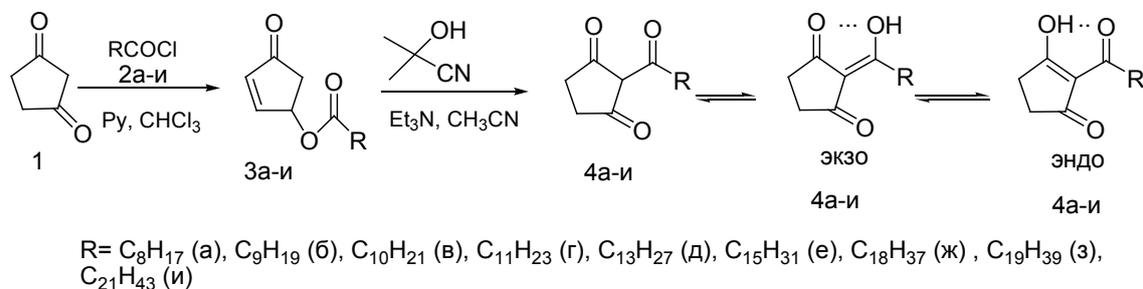


Рис. 2. Синтез 2-ацилциклопентан-1,3-диононов с C_9-C_{22} насыщенной ацильной цепью

Совокупность данных ИК и ЯМР 1H спектров синтезированных веществ (**3а-и**) и (**4а-и**), а также их сравнение с имеющимися литературными данными для аналогичных соединений с ненасыщенной боковой ацильной цепью [15] подтверждают их структуры.

Так, в ИК спектрах енолацилатов (**3а-и**) наблюдается полоса при $1775-1780\text{ см}^{-1}$, что соответствует карбонильному поглощению сложных виниловых эфиров. В интервале $1700-1705\text{ см}^{-1}$ имеется интенсивная полоса поглощения, соответствующая поглощению сопряженного карбонила. К характеристическим полосам также следует отнести полосу поглощения в области $1165-1170\text{ см}^{-1}$, обусловленную поглощением связи С-О-енолэфиров.

ЯМР 1H спектры енолацилатов (**3а-и**) характеризуются наличием резонансного сигнала винильного протона в области $\delta 6,2$ м. д. в виде синглета, сигналов протонов метиленов цикла в диапазоне $\delta 2,28-2,45$ м. д. в виде триплетов ($J 6,5$ Гц), а также сигнала протонов терминальной CH_3 -группы длинноцепочечных насыщенных жирных кислот в виде триплета при $\delta 0,88$ м. д. и протонов CH_2 -группы, непосредственно связанной с карбонильной группой ацильного остатка кислоты при $2,76$ м. д. Химические сдвиги протонов метиленовых фрагментов алкильного остатка наблюдаются при $1,27-1,7$ м. д. в виде мультиплетов.

В ИК спектрах 2-ацилциклопентан-1,3-диононов (**4а-и**) в области $1680-1705\text{ см}^{-1}$ имеется интенсивная полоса поглощения, которая соответствует поглощению свободной сопряженной карбонильной группы. Для β -трикетонов (**4а-и**) в области $1580-1630\text{ см}^{-1}$ наблюдаются две узкие полосы поглощения вместо одной уширенной полосы (как у циклогексановых β -трикарбонильных соединений [14]), что объясняется наличием у них двух типов хелатированных (эндо- и экзо-енольных форм) карбонильных групп (рис. 2). В ЯМР 1H спектрах 2-ацилциклопентан-1,3-диононов (**4а-и**) отсутствует сигнал винильного протона в области $\delta 6,0$ м. д. и наблюдается резонансный сигнал енольного протона в виде синглета в области $\delta 15,0$ м. д., что указывает на то, что синтезированные β -трикетоны (**4а-и**) существуют в растворе в полностью енолизованной форме.

По данной схеме получен ряд других 2-ацилциклопентан-1,3-диононов с насыщенной ацильной цепью. Структуре и биологической активности всех полученных соединений будет посвящено отдельное сообщение.

Экспериментальная часть. Спектры ЯМР 1H записывали на приборе фирмы Bruker BioSpin AVANCE 500 (500 МГц) в дейтерохлороформе с ТМС в качестве внутреннего стандарта. ИК спектры получали на приборе UR-20 в пленке или в таблетках KBr. Температуры плавления определяли на блоке Voëtius. Элементный анализ выполняли на CHNS-O анализаторе Eurovector EA3000. Протекание реакций контролировали методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 в системе гексан-эфир (1 : 1). Очистку синтезируемых соединений проводили методом колоночной хроматографии с использованием в качестве элюента смеси эфир-гексан.

Методика получения енолацилатов (3а–и). К перемешиваемой смеси 0,001 моль циклопентан-1,3-диола (1) и 0,001 моль пиридина в сухом хлороформе прикапывали раствор 0,0011 моль хлорангидрида соответствующей кислоты в хлороформе при комнатной температуре на протяжении 1,5 ч. Реакционную смесь перемешивали 1,5 ч, затем обрабатывали разбавленной соляной кислотой, водой, насыщенным раствором соды, водой (по 50 мл). Органический слой сушили над сульфатом магния, отфильтровывали осушитель, растворитель удаляли на ротормном испарителе. После очистки остатка методом колоночной хроматографии кристаллизацией (эфир–гексан) выделяли конечные продукты в виде бесцветных кристаллов.

(3-Оксоциклопент-1-енил)нонаоат (3а). Выход 90 %. Т. пл. 45–48 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1775. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,89 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,34 (10Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,28 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,76 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 70,52; Н 9,32. С₁₄Н₂₂О₃. Вычислено, %: С 70,56; Н 9,30.

(3-Оксоциклопент-1-енил)декаоат (3б). Выход 92 %. Т. пл. 42–44 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1710, 1775. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,89 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,34 (12Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,28 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,43 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,75 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 71,31; Н 9,57. С₁₅Н₂₄О₃. Вычислено, %: С 71,39; Н 9,59.

(3-Оксоциклопент-1-енил)ундекаоат (3в). Выход 89 %. Т. пл. 40–42 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1775. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,27 (14Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,28 (2Н, т, J 7,0 Гц); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,76 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 72,11; Н 9,82. С₁₆Н₂₆О₃. Вычислено, %: С 72,14; Н 9,84.

(3-Оксоциклопент-1-енил)додекаоат (3г). Выход 83 %. Т. пл. 53–55 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1780. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,27 (16Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,28 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,76 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 72,86; Н 10,01. С₁₇Н₂₈О₃. Вычислено, %: С 72,82; Н 10,06.

(3-Оксоциклопент-1-енил)тетрадекаоат (3д). Выход 83 %. Т. пл. 53–56 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1780. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,27 (20Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,28 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,76 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 73,92; Н 10,31. С₁₉Н₃₂О₃. Вычислено, %: С 73,98; Н 10,46.

(3-Оксоциклопент-1-енил)гексадекаоат (3е). Выход 72 %. Т. пл. 44–48 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1775. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,28 (24Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,53 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,75 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 74,92; Н 10,75. С₂₁Н₃₆О₃. Вычислено, %: С 74,95; Н 10,78.

(3-Оксоциклопент-1-енил)нонадекаоат (3ж). Выход 80 %. Т. пл. 74–77 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1775. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,28 (30Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,53 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,75 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 76,12; Н 11,16. С₂₄Н₄₂О₃. Вычислено, %: С 76,14; Н 11,18.

(3-Оксоциклопент-1-енил)эйкозаноат (3з). Выход 87 %. Т. пл. 71–73 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1170, 1705, 1775. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,28 (32Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,53 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,75 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 76,42; Н 11,28. С₂₄Н₄₄О₃. Вычислено, %: С 76,48; Н 11,30.

(3-Оксоциклопент-1-енил)докозаноат (3и). Выход 89 %. Т. пл. 77–78 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1165, 1705, 1765. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,25 (36Н, м); 1,70 (2Н, м); 2,45 (2Н, т, J 5,0 Гц); 2,53 (2Н, т, J 7,5 Гц); 2,75 (2Н, т, J 5,0 Гц); 6,23 (1Н, с). Найдено, %: С 77,02; Н 11,30. С₂₇Н₄₈О₃. Вычислено, %: С 77,09; Н 11,50.

Синтез 2-ацилциклопентан-1,3-дионов (4а–и). К раствору 0,001 моль енолацилата циклопентан-1,3-диола (3а–и) в 10 мл ацетонитрила прибавляли 0,002 моль триэтиламина и 0,3 мл ацетонциангидрина. Реакционную смесь перемешивали в течение суток при комнатной температуре, затем упаривали на ротормном испарителе. Остаток растворяли в 100 мл хлороформа, обрабатывали разбавленной соляной кислотой (1 : 10, 2 × 50 мл), водой (2 × 50 мл), сушили сульфатом магния. После фильтрования осушителя и удаления хлороформа на ротормном испарителе кристаллизацией остатка (эфир–гексан) получали конечные продукты (4а–и).

2-Нонаноилциклопентан-1,3-дион (4а). Выход 74 %. Т. пл. 35–38 °С. ИК (ν , см⁻¹, КВг): 1590, 1630, 1700. Спектр ЯМР ¹Н (δ , м. д.): 0,88 (3Н, т, J 6,5 Гц); 1,30 (10Н, м); 1,64 (2Н, м); 2,52 (2Н, т,

J 6,0 Гц); 2,76 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,91 (2H, т, J 7,5 Гц); 15,02 (1H, с). Найдено, %: С 70,52; Н 9,32. $C_{14}H_{22}O_3$. Вычислено, %: С 70,56; Н 9,30.

2-Деканоилциклопентан-1,3-дион (4б). Выход 76 %. Т. пл. 25–27 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1590, 1630, 1700. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,88 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,30 (12H, м); 1,64 (2H, м); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,76 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,91 (2H, т, J 7,5 Гц); 15,02 (1H, с). Найдено, %: С 71,31; Н 9,57. $C_{15}H_{24}O_3$. Вычислено, %: С 71,39; Н 9,59.

2-Ундеканоилциклопентан-1,3-дион (4в). Выход 76 %. Т. пл. 105–107 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1590, 1630, 1700. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,89 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,27 (14H, м); 1,64 (2H, м); 2,53 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,76 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,92 (2H, т, J 7,5 Гц); 15,07 (1H, с). Найдено, %: С 72,11; Н 9,82. $C_{16}H_{26}O_3$. Вычислено, %: С 72,14; Н 9,84.

2-Додеканоилциклопентан-1,3-дион (4г). Выход 86 %. Т. пл. 28–31 °С. ИК (ν , cm^{-1} , плёнка): 1590, 1625, 1705. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,88 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,25 (16H, м); 1,63 (2H, м); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,75 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,91 (2H, т, J 7,5 Гц); 15,08 (1H, с). Найдено, %: С 72,86; Н 10,01. $C_{17}H_{28}O_3$. Вычислено, %: С 72,82; Н 10,06.

2-Тетрадеканоилциклопентан-1,3-дион (4д). Выход 94 %. Т. пл. 45–47 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1595, 1630, 1695. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,88 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,25 (20H, м); 1,63 (2H, м); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,75 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,91 (2H, т, J 7,5 Гц); 15,13 (1H, с). Найдено, %: С 73,92; Н 10,31. $C_{19}H_{32}O_3$. Вычислено, %: С 73,98; Н 10,46.

2-Гексадеканоилциклопентан-1,3-дион (4е). Выход 85 %. Т. пл. 36–39 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1580, 1620, 1680. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,89 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,26 (24H, м); 1,64 (2H, м); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,76 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,92 (2H, т, J 7,5 Гц); 15,08 (1H, с). Найдено, %: С 74,92; Н 10,75. $C_{21}H_{36}O_3$. Вычислено, %: С 74,95; Н 10,78.

2-Нонадеканоилциклопентан-1,3-дион (4ж). Выход 76 %. Т. пл. 66–69 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1580, 1620, 1700. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,88 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,25 (30H, м); 1,63 (2H, м); 2,35 (2H, т, J 7,5 Гц); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,75 (2H, т, J 6,0 Гц); 15,14 (1H, с). Найдено, %: С 76,12; Н 11,16. $C_{24}H_{42}O_3$. Вычислено, %: С 76,14; Н 11,18.

2-Эйкозаноилциклопентан-1,3-дион (4з). Выход 89 %. Т. пл. 54–55 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1580, 1620, 1700. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,88 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,25 (32H, м); 1,63 (2H, м); 2,35 (2H, т, J 7,5 Гц); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,75 (2H, т, J 6,0 Гц); 15,14 (1H, с). Найдено, %: С 76,42; Н 11,28. $C_{24}H_{44}O_3$. Вычислено, %: С 76,48; Н 11,30.

2-Докозаноилциклопентан-1,3-дион (4и). Выход 78 %. Т. пл. 51–53 °С. ИК (ν , cm^{-1} , KBr): 1580, 1620, 1700. Спектр ЯМР 1H (δ , м.д.): 0,88 (3H, т, J 6,5 Гц); 1,25 (42H, м); 1,63 (2H, м); 2,35 (2H, т, J 7,5 Гц); 2,52 (2H, т, J 6,0 Гц); 2,75 (2H, т, J 6,0 Гц); 15,14 (1H, с). Найдено, %: С 77,02; Н 11,30. $C_{27}H_{48}O_3$. Вычислено, %: С 77,09; Н 11,50.

Список использованной литературы

1. Рубинов, Д. Б. 2-Ацилциклоалкан-1,3-дионы: нахождение в природе, биологическая активность, биогенез, химический синтез / Д. Б. Рубинов, И. Л. Рубинова, А. А. Ахрем // ХПС. – 1995. – Т. 31, № 5. – С. 635–663.
2. Ляхвич, Ф. А. Циклические β -трикетоны в природе. Выделение, структура и биологическая активность / Ф. А. Ляхвич, Т. С. Хлебникова // Весці АН Беларусі. Сер. хім. навук. – 1996. – № 4. – С. 101–119.
3. Antifungal cyclopentenones from *Piper coruscans* / X.-C. Li [et al.] // J. Am. Chem. Soc. – 2004. – Vol. 126. – P. 6872–6873.
4. Ciochina, R. Polycyclic polyprenylated acylphloroglucinols / R. Ciochina, R. B. Grossman // Chem. Rev. – 2006. – Vol. 106, N 9. – P. 3963–3986.
5. Andersen, Ø. M. Flavonoids: Chemistry, biochemistry and application / Ø. M. Andersen, K. R. Markham. – Boca Raton: CRS Press, 2006.
6. Modern Crop Protection Compounds / Ed. W. Kramer, U. Schirmer, P. Jeschke, M. Witschel. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011.
7. Phase I dose-escalation studies of SNX-5422, an orally bioavailable heat shock protein 90 inhibitor, in patients with refractory solid tumours / R. Infante [et al.] // Eur. J. Cancer. – 2014. – Vol. 50, N 17. – P. 2897–2904.
8. NTBC therapy for tyrosinemia type I: how much is enough? / H. El-Karakasy [et al.] // Eur. J. Pediatr. – 2010. – Vol. 169, N 6. – P. 689–693.
9. Rubinov, D. B. Chemistry of 2-Acylcycloalkane-1,3-diones / D. B. Rubinov, I. L. Rubinova, A. A. Akhrem // Chem. Rev. – 1999. – Vol. 99, N 4. – P. 1047–1065.
10. Schmidt, A. General strategy for the synthesis of B_1 phytoprostanes, dinor isoprostanes, and analogs / A. Schmidt, W. Boland // J. Org. Chem. – 2007. – Vol. 72. – P. 1699–1706.

11. *Хлебникова, Т. С.* Синтез природных и родственных им биоактивных веществ на основе производных циклических β -дикетоннов / Т. С. Хлебникова, Ф. А. Лахвич // *Итоги и перспективы развития биоорганической химии в Республике Беларусь.* – Минск, 1998. – С. 157–182.
12. *Хлебникова, Т. С.* Катионные комплексы платины (II) с производными 2-ацил-1,3-циклопентан-1,3-дионов / Т. С. Хлебникова, И. В. Меркушин, Ф. А. Лахвич // *ЖОХ.* – 2006. – Т. 76, вып. 5. – С. 705–712.
13. *Хлебникова, Т. С.* Синтез 13-аза-14-окса- и 13,14-диазапростаноидов / Т. С. Хлебникова, Ф. А. Лахвич // *ЖОрХ.* – 2000. – Т. 36, вып. 11. – С. 1642–1647.
14. *Лахвич, Ф. А.* Синтез кайромонов *Lepidoptera* и их аналогов ряда 2-ацилциклогексан-1,3-дионов с насыщенной боковой ацильной цепью / Ф. А. Лахвич, И. И. Петрусевич, А. Н. Сергеева // *ЖОрХ.* – 1995. – Т. 31, вып. 11. – С. 1643–1649.
15. *Меркушин, И. В.* Синтез 2-ацилциклопентан-1,3-дионов с ненасыщенной боковой ацильной цепью / И. В. Меркушин // *Весті НАН Беларусі. Сер. хім. навук.* – 2005. – № 5. – С. 82–84.

Поступило в редакцию 02.12.2015