А. В. Байбуртли (асп.)¹, Е. М. Плисс (д.х.н., проф.)²

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕПРЕДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОЗОНА

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра общей, аналитической и прикладной химии

450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; тел. (347)2420854, e-mail: alsu.vaidovna@mail.ru

² Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова,
кафедра общей и физической химии

150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14; тел. (4852)797713, e-mail: pliss@uniyar.ac.ru

A. V. Bayburtli, E. M. Pliss

OXIDATIVE TRANSFORMATIONS OF SOME UNSATURATED COMPOUNDS UNDER THE INFLUENCE OF OZONE

Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov Str., 450062, Ufa, Russia; ph. (347)2420854, e-mail: alsu.vaidovna@mail.ru

P.G. Demidov Yaroslavl State University

14, Sovetskaya Str., 150003, Yaroslavl, Russia; ph. (4852)797713, e-mail: pliss@uniyar.ac.ru

Рассмотрены и сопоставлены известные литературные данные по окислению непредельных соединений озонем. Основное внимание уделено синтезу карбонильных соединений, в том числе кислот, образующихся при разложении промежуточных озонидов различными реагентами. Обсужден низкотемпературный озонолиз замещенных олефинов в различных вариантах ($O_3/MeOH-CH_2Cl_2-NaOH$ либо $O_3/MeOH$ и O_3/CH_2Cl_2-AcOH с последующей обработкой солянокислым семикарбазидом), который приводит к соответствующим карбонильным и карбоксильным производным в различных соотношениях в зависимости от строения субстрата и условий обработки.

Ключевые слова: карбонильные соединения; кислоты; озонолиз; олефины; окисление; сложные эфиры.

Работа выполнена за счет финансирования гранта РФФИ (проект № 17-33-50026).

В последние годы окисление олефинов и других нефтехимических продуктов озонем широко используется для получения полифункциональных реагентов, труднодоступных другими методами¹⁻³. Эта реакция представляет особый интерес, поскольку открывает возможности трансформации промежуточных

The known results on ozone oxidation of unsaturated compounds are considered and compared. The main interaction is concentrated on synthesis of carbonyl compounds and acids which are formed at decomposition of the intermediate ozonides by various reagents. The low-temperature ozonolysis of substituted olefins in various variants ($O_3/MeOH-CH_2Cl_2-NaOH$ or $O_3/MeOH$ and O_3/CH_2Cl_2-AcOH with sequential processing by hydrochloric semicarbazide) is discussed, this reactions leads to the corresponding carbonyl and carboxyl derivatives in different ratios depending on the substrate structure and processing conditions.

Key words: acids; carbonyl compounds; esters; olefins; oxidation; ozone.

The work was funded by a grant from Russian Foundation for Basic Research (project № 17-33-50026)

озонидов в различные кислородсодержащие соединения.

В частности, солянокислый семикарбазид переводит перекисные продукты озонолиза олефинов в метаноле в сложные метиловые эфиры^{4,5}. Было показано, что озонирование алкенов при 0 °C приводит к смеси полуацетала и семикарбазона (схема 1)^{6,7}.

Дата поступления 15.03.18

Схема 1

Схема 2

Эта реакция была успешно использована для стереоселективного окисления полициклических олефинов — 3-карена, (+)- α -пинена и (–)-лимонена) и полиненасыщенных триглицеридов⁸.

Озонолиз олефинов в системе метанол-вода с последующей обработкой промежуточных перекисных соединений гидроксиламином приводит к сложным эфирам и метилалям (схема 2)⁸.

Практически важные метиловые эфиры дикарбоновой кислоты были получены этим методом из циклооктена (схема 3).

Схема 3.

В качестве промежуточных продуктов в реакционной массе присутствуют соответствующие N-гидроксипроизводные (схема 4).

Схема 4.

В работе⁹ показано, что промежуточные пероксиды количественно разлагаются тозилгидрозином (гидразид паратолуолсульфокислоты) до соответствующих тозилгидразонов (схема 5).

Схема 5

Можно предположить, что промежуточными продуктами при этом являются соответствующие альдегиды.

Описано окисление олеиновой кислоты озоном, включающее разложение пероксидов гидроксиламином (схема 6)¹⁰.

Схема 6.

Основными продуктами являются эфиры соответствующих моно- и дикарбоновых кислот. Последние образуются за счет разрушения озоном двойной углерод-углеродной связи¹⁰.

Винил-гем-дихлорциклопропаны под действием озона в зависимости от условий окисления и среды образуют широкую гамму кислородсодержащих соединений^{11,12}. Во всех случаях имеет место сохранение карбоциклического фрагмента (схема 7).

Отмечено¹¹, что озонолиз монокарбенированного 2,3-диметилбутадиена является удобным способом получения соответствующего метилкетона (выход более 80%).

Интересный вариант получения практически важных алкоксиуксусных кислот низкотемпературным озонолизом аллиловых эфиров реализован в работе (схема 8)¹³.

Выход соответствующих метиловых эфиров может быть доведен до количественного, что исключает использование в реакции монохлоруксусной кислоты и ее производных.

Ключевой стадией синтеза ряда феромонов насекомых является озонолиз циклоалкенов (схема 9)¹⁴. Разложение промежуточного пероксида системой уксусный ангидрид-три-

Схема 7.

Схема 8.

этиламин позволяет с высоким выходом получать целевой метиловый эфир 5-оксопентановой кислоты.

Схема 9.

Этот метод был распространен на другие макроциклические алкены и оказался весьма эффективным.

Присутствие у двойной связи алкильной группы (1-метил-1-циклопентен и его аналоги) приводит к образованию соответствующего кетоальдегида в форме метиля (схема 10) ¹⁵.

Схема 10.

Важным и интересным в плане синтеза полифункциональных алкенов оказалось озон-

нированное окисление несопряженных циклических диенов (схема 11) ¹⁶⁻²⁴.

Схема 11.

В частности, из циклоокта-1,5-диена этим методом получены непредельные диальдегиды, диолы, дикарбоновые кислоты и их производные.

Условия процесса определяют селективность образования требуемых продуктов.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о широких возможностях окисления непредельных соединений озонем в плане синтеза полифункциональных кислородсодержащих соединений, труднодоступных другими методами.

Литература

- Ишмуратов Г.Ю., Харисов Р.Я., Одинок В.Н., Толстиков Г.А. Озонолиз ненасыщенных соединений в синтезе феромонов насекомых и ювеноидов // Успехи химии.— 1995.— Т.64, №6.— С.580-608.
- Латыпова Э.Р., Талипов Р.Ф., Ишмуратов Г.Ю. Озонотические превращения (R)-4-ментен-3-она и его производных в направлении к низкомолекулярным биорегуляторам // Известия высших учебных заведений. Сер. химия и химическая технология.— 2016.— Т.59, №3.— С.3-17.
- Рахманкулов Д.Л., Курамшин Э.М., Злотский С.С. Реакции ацеталей с озоном // Успехи химии.— 1985.— Т.54, №6.— С.923-940.
- Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Муслухов Р.Р., Яковлева М.П., Талипов Р.Ф. Производные гидразина в превращениях перекисных продуктов озонолиза олефинов в метаноле // Вестник Башкирского университета.— 2009.— Т.14, №1.— С.27-32.
- Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Толстиков Г.А. Превращения перекисных продуктов озонолиза олефинов // ЖОрХ.— 2010.— Т.46, №11.— С.1591-1617.
- Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Насибуллина Г.В., Гарифуллина Л.Р.,

References

- Ishmuratov G.Yu., Kharisov R.Ya., Odiakov V.N., Tolstikov G.A. [Ozonolysis of unsaturated compounds in the synthesis of insect pheromones and juvenoids]. *Russian Chemical Reviews*, 1995, vol.64, no.6, pp.541-569. DOI: 10.1070/RC1995v064n06ABEH000164.
- Latypova E.R., Talipov R.F., Ishmuratov G.Yu. *Ozonoliticheskie prevrashcheniya (R)-4-menten-3-ona i ego proizvodnykh v napravlenii k nizkomolekuliarnym bioregulatoram* [Ozonolytic transformations of (R)-4-menthene-3-one and its derivatives in direction to low molecular weight bioregulators]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ser. khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Russian journal of chemistry and chemical technology], 2016, vol.59, no.3, pp.3-17. DOI: 10.6060/cct.16.5313
- Rakhmankulov D.L., Kuramshin E.M., Zlotskii S.S. [The reactions of acetals with ozone]. *Russian Chemical Reviews*, 1985, vol.54, no.6, pp.544-561. DOI: 10.1070/RC1985v054n06ABEH0003085.
- Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Muslukhov R.R., Iakovleva M.P., Talipov R.F. *Proizvodnye gidrazina v prevrashcheniyakh perekisnykh produktov ozonoliza olefinov v metanole* [Derivatives of hydrazine in transformations of peroxide products of

- Муслухов Р.Р., Толстиков Г.А. Превращения перекисных продуктов озонлиза олефинов при действии семикарбазида в метаноле // ЖОрХ.— 2012.— Т.48, №10.— С.1278-1282.
7. Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Назаров И.С., Яковлева М.П., Гарифуллина Л.Р., Хамидуллина М.М., Талипова Г.Р. Превращения пероксидных продуктов озонлиза нонена-1 под действием гидрохлоридов семикарбазида и гидроксилamina // Вестник Башкирского университета.— 2015.— Т.20, №1.— С.50-57.
 8. Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Боцман Л.П., Муслухов Р.Р., Толстиков Г.А. Превращения перекисных продуктов озонлиза олефинов в системе метанол-вода // ЖОрХ.— 2013.— Т.49, №10.— С.1439-1442.
 9. Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Назаров И.С., Кравченко А.А., Кравченко Л.В., Ишмуратов Г.Ю. Превращения пероксидных продуктов озонлиза терминальных олефинов при действии тозилгидразина // ЖОрХ.— 2016.— Т.52, №11.— С.1712-1714.
 10. Ишмуратов Г.Ю., Яковлева М.П., Боцман Л.П., Легостаева Ю.В., Назаров И.С., Байдимиров Д.В. Превращения пероксидных продуктов озонлиза олеиновой кислоты при действии гидрохлоридов гидроксилamina и семикарбазида // ЖОрХ.— 2015.— Т.51, №5.— С.632-636.
 11. Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Раскильдина Г.З., Султанова Р.М., Ишмуратов Г.Ю., Злотский С.С. Низкотемпературный озонлиз алкенил-гем-дихлорциклопропанов // ЖОрХ.— 2018.— Т.54, №3.— С.373-377.
 12. Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Назаров И.С., Талипова Г.Р., Баннова А.В., Козлова Г.Г., Ишмуратов Г.Ю. Превращения пероксидных продуктов озонлиза циклооктена под действием гидрохлоридов гидроксилamina и семикарбазида // Вестник Башкирского университета.— 2015.— Т.20, №1.— С.43-49.
 13. Раскильдина Г.З., Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Султанова Р.М., Ишмуратов Г.Ю., Злотский С.С. Новый метод получения алкоксиуксусных кислот // Доклады Академии наук.— 2015.— Т.462, №3.— С.307-309.
 14. Одинокоев В.Н., Ахметова В.Р., Хасанов Х.Д., Абдувахабов А.А., Толстиков Г.А. Феромоны насекомых и их аналоги. XXV1. Синтез ПЗ - гексадецен-1-ола, его ацетата и 112-гексадецен-1-ола — компонентов феромонов насекомых отряда *Lepidoptera* // Химия природных соединений.— 1991.— №1.— С.132-135.
 15. Одинокоев В.Н., Куковинец О.С., Зайнуллин Р.А., Ишмуратов Г.Ю., Исакова Л.А., Толстиков Г.А. Озонлиз алкенов и изучение реакций полифункциональных соединений. Синтез (Е)-3,7-диметил-2,7-октадиен-1-илпропионата // ЖОрХ.— 1985.— Т.23.— С.2228-2230.
 16. Толстиков Г.А., Одинокоев В.Н., Джемилев У.М., Галеева Р.И., Балежина Г.Г., Амирханов Д.В. Синтез феромонов насекомых вредителей на основе олигомеров 1,3-диенов // Химия в сельском хозяйстве.— 1980.— Т.18.— С.35-36.
 17. Одинокоев В.Н., Ахунова В.Р., Бакеева Р.С., Галеева Р.И., Семеновский А.В., Моисеенков озонolysis of olefins in methanol]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University], 2009, vol.14, no.1, pp.27-32.
 5. Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Tolstikov G.A. [Transformations of peroxide products of olefins ozonolysis]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2010, vol. 46, no.11, pp.1593-1621. DOI:10.1134/S1070428010110011.
 6. Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Nasibullina G.V., Garifullina L.R., Muslukhov R.R., Tolstikov G.A. [Transformations of peroxide products of olefin ozonolysis under the action of semicarbazide in methanol]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2012, vol.48, no.10, pp.1272-1276. DOI: 10.1134/S1070428012100028.
 7. Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Nazarov I.S., Iakovleva M.P., Garifullina L.R., Khamidullina M.M., Talipova G.R. *Prevrashcheniya peroksidnykh produktov ozonoliza nonena-1 pod deistviem gidrokhloridov semikarbazida i gidroksilamina* [Transformations of peroxidic products of ozonolysis with nonene-1 under the action of semicarbazide hydrochloride and hydroxylamine hydrochloride]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University], vol.20, no.1, pp.50-57.
 8. Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Garifullina L.R., Botsman L.P., Muslukhov R.R., Tolstikov G.A. [Transformations of peroxide olefin ozonolysis products in methanol in the presence of water]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2013, vol.49, no.10, pp.1415-1419. DOI: 10.1134/S1070428013100023.
 9. Legostaeva Yu.V., Garifullina L.R., Nazarov I.S., Kravchenko A.A., Kravchenko L.V., Ishmuratov G.Yu. [Transformations of peroxide ozonolysis products of terminal olefins treated with tosylhydrazide]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2016, vol.52, no.11, pp.1708-1710. DOI: 10.1134/S1070428016110294.
 10. Ishmuratov G.Yu., Yakovleva M.P., Botsman L.P., Legostaeva Yu.V., Nazarov I.S., Baidimirov D.V. [Transformations of peroxide products of oleic acid ozonolysis at treatment with hydroxylamine and semicarbazide hydrochlorides]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2015, vol.51, no.5, pp.610-614. DOI: 10.1134/S1070428015050036.
 11. Legostaeva Yu.V., Garifullina L.R., Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Ishmuratov G.Yu., Zlotskii S.S. *Nizkotemperaturnyi ozonoliz alkenil-gem-dikhlortsiklopropanov* [Low-temperature ozonolysis of alkenyl-gem-dichlorocyclopropanes]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 2018, vol.54, no.3, pp.373-377.
 12. Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Nazarov I.S., Talipova G.R., Bannova A.V., Kozlova G.G., Ishmuratov G.Yu. *Prevrashcheniya peroksidnykh produktov ozonoliza tsiklooktena pod deistviem gidrokhloridov gidroksilamina i semikarbazida* [Transformations of peroxide products of ozonolysis of cyclooctene under the action of hydroxylamine hydrochlorides and semicarbazide]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University], 2015, vol.20, no.1, pp.43-49.

- А.М., Толстиков Г.А. Озонолиз алкенов и изучение реакций полифункциональных соединений // ЖОрХ.— 1977.— Т.13.— С.532-538.
18. Одинок В.Н., Бакеева Р.С., Галеева Р.И., Ахунова В.Р., Мухтаров Я.Г., Толстиков Г.А., Халилов Л.М., Панасенко А.А. Озонолиз алкенов и изучение реакций полифункциональных соединений. XVII. Селективный озонолиз циклических олигомеров и соолигомеров 1,3-диенов, содержащих двойные связи различной конфигурации и степени замещенности // ЖОрХ.— 1979.— Т.15, №10.— С.2017-2024.
19. Одинок В.Н., Боцман Л.П., Нагаева Н.А., Толстиков Г.А. Синтез (Z)-7-оксо-10-гексадец-1-ола и его аналога // ЖОрХ.— 1988.— Т.24.— С.80-86.
20. Одинок В.Н., Куковинец О.С., Зайнуллин Р.А., Касрадзе В.Г., Долидзе А.В., Толстиков Г.А. Озонолиз алкенов и изучение реакций полифункциональных соединений. LI. Синтез потенциальных ювеноидов с циклобутановым и циклопропановым фрагментами на основе продуктов озонолиза (+)- α -пинена и (+)-3-карена // ЖОрХ.— 1992.— Т.28, №8.— С.1619-1625.
21. Толстиков Г.А., Мифтахов М.С., Сидоров Н.Н., Валеев Ф.А., Одинок В.Н. Простаноиды. Простой путь получения циклопентеновых синтонов из 1,5-циклооктадиена // ЖОрХ.— 1982.— Т.18.— С.572-577.
22. Толстиков Г.А., Мифтахов М.С., Валеев Ф.А. Простаноиды. Получение циклопентеновых синтонов для 11-дезоксипростагландинов // ЖОрХ.— 1981.— Т.17, №8.— С.1441-1446.
23. Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Муслухов Р.Р., Яковлева М.П., Талипов Р.Ф. Производные гидразина в превращениях перекисных продуктов озонолиза олефинов в метаноле // Вестник Башкирского университета.— 2009.— Т.14, №1.— С.27-32.
24. Ишмуратов Г.Ю., Легостаева Ю.В., Боцман Л.П., Толстиков Г.А. Превращения перекисных продуктов озонолиза олефинов // ЖОрХ.— 2010.— Т.46, №11.— С.1591-1617.
13. Raskil'dina G.Z., Legostaeva Iu.V., Garifullina L.R., Sultanova R.M., Ishmuratov G.Yu., Zlotskii S.S. *Novyi metod polucheniia alkoksikislot* [A new method for the production of alkoxyacetic acids]. *Doklady Akademii nauk* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol.462, no.3, pp.307-309.
14. Odinokov V.N., Akhmetova V.R., Khasanov Kh.D., Abduvakhabov A.A., Tolstikov G.A. *Feromony nasekomykh i ikh analogi. Sintez IIZ-geksadetsen-1-ola, ego atsetata i 112-geksadetsen-1-alia — komponentov feromonov nasekomykh otriada Lepidoptera* [Synthesis of IZ-hexadecene-1-ol, its acetate and 112-hexadecene-1-ol components of pheromones of insects of the order *Lepidoptera*]. *Khimiya prirodnykh soedinenii* [Chemistry of Natural Compounds], 1991, no.1, pp.132-135.
15. Odinokov V.N., Kukovinets O.S., Zainullin R.A., Ishmuratov G.Yu., Isakova L.A., Tolstikov G.A. *Ozonoliz alkenov i izuchenie reaktsii polifunktsional'nykh soedinenii. Sintez (E)-3,7-dimetil-2,7-oktadien-1-ilpropionata* [Ozonolysis of alkenes and study of the reaction of polyfunctional compounds. Synthesis of (E)-3,7-dimethyl-2,7-octadiene-1-ylpropionate]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1985, vol.23, pp.2228-2230.
16. Tolstikov G.A., Odinokov V.N., Dzhemilev U.M., Galeeva R.I., Balezina G.G., Amirkhanov D.V. *Sintez feromonov nasekomykh vrediteli na osnove oligomerov 1,3-dienov* [Synthesis of pheromone insect pests on the ground of on oligomers of 1,3-dienes]. *Khimiya v sel'skom khoziaistve* [Journal of Chemistry in agriculture], 1980, vol.18, pp.35-36.
17. Odinokov V.N., Akhunova V.R., Bakeeva R.S., Galeeva R.I., Semenovskii A.V., Moiseenkov A.M., Tolstikov G.A. *Ozonoliz alkenov i izuchenie reaktsii polifunktsional'nykh soedinenii* [Ozonolysis of alkenes and study of the reaction of polyfunctional compounds]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1977, vol.13, pp.532-538.
18. Odinokov V.N., Bakeeva R.S., Galeeva R.I., Akhunova V.R., Mukhtarov Ya.G., Tolstikov G.A., Khalilov L.M., Panasenkov A.A. *Ozonoliz alkenov i izuchenie reaktsii polifunktsional'nykh soedinenii. XVII. Selektivnyi ozonoliz tsiklicheskih oligomerov i sooligomerov 1,3-dienov, soderzhashchikh dvoynye svyazi razlichnoi konfiguratsii i stepeni zameshchennosti* [Ozonolysis of alkenes and study of the reactions of polyfunctional compounds. XVII. Selective ozonolysis of cyclic oligomers and 1,3-diene cooligomers containing double bonds of different configuration and degree of substitution]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1979, vol.15, no.10, pp.2017-2024.
19. Odinokov V.N., Botsman L.P., Nagaeva N.A., Tolstikov G.A. *Sintez (Z)-7-okso-10-geksadetsen-1-ola i ego analoga* [Synthesis of (Z)-7-oxo-10-hexadecene-1-ol and its analogue]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1988, vol.24, pp.80-86.
20. Odinokov V.N., Kukovinets O.S., Zainullin R.A., Kasradze V.G., Dolidze A.V., Tolstikov G.A. *Ozonoliz alkenov i izuchenie reaktsii polifunktsional'nykh soedinenii. LI. Sintez*

- potentsial'nykh iuvenoidov s tsiklobutanovym i tsiklopropanovym fragmentami na osnove produktov ozonoliza (+)- α -pinena i (+)-3-carena* [Ozonolysis of alkenes and study of the reactions of polyfunctional compounds. LI. Synthesis of potential juvenoids with cyclobutane and cyclopropane fragments based on ozonolysis products of (+)- α -pinene and (+)-3-carene]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1992, vol.28, no.8, pp.1619-1625.
21. Tolstikov G.A., Miftakhov M.S., Sidorov N.N., Valeev F.A., Odinokov V.N. *Prostanoidy. Prostoi put' polucheniya ciklopentenovykh sintonov iz 1,5-ciklooktadiena* [Prostanoids. A simple way to preparation cyclopentene synthons from 1,5-cyclooctadiene]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1982, vol.18, pp.572-577.
 22. Tolstikov G.A., Miftakhov M.S., Valeev F.A. *Prostanoidy. Poluchenie tsiklopentenovykh sintonov dlya 11-dezoksiprostaglandinov* [Prostanoids. Preparation of cyclopentene synthons for 11-deoxyprostaglandins]. *Zhurnal organicheskoi khimii* [Russian Journal of Organic Chemistry], 1981, vol.17, no.8, pp.1441-1446.
 23. Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Muslukhov R.R., Iakovleva M.P., Talipov R.F. *Proizvodnye gidrazina v prevrashcheniyakh perekisnykh produktov ozonoliza olefinov v metanole* [Derivatives of hydrazine in transformations of peroxide products of ozonolysis of olefins in methanol]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of Bashkir University], 2009, vol.14, no.1, pp.27-32.
 24. Ishmuratov G.Yu., Legostaeva Yu.V., Botsman L.P., Tolstikov G.A. [Transformations of peroxide products of olefins ozonolysis]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2010, vol.46, no.11, pp.1593-1621. DOI: 10.1134/S1070428010110011