

УДК 543.632.562.4

С. Г. Михалёнок, Н. М. Кузьменок, А. С. Орёл, В. С. Безбородов  
Белорусский государственный технологический университет

### СИНТЕЗ *N*-ДОДЕЦИЛМОРФОЛИНА И ЕГО КВАТЕРНИЗАЦИЯ

Алкилирование морфолина эквимольным количеством додецилбромида с последующей обработкой реакционной смеси щелочью приводит к образованию *N*-додецилморфолина с низким выходом, поскольку половина из введенного в реакцию основания расходуется на вытеснение третичного амина из первоначально образуемой соли гидробромида *N*-додецилморфолия. Предложена методика синтеза *N*-додецилморфолина с выходом 82%, в которой используется двукратный мольный избыток морфолина, а вторичный амин, связывающийся в бромид морфолия, регенерируется обработкой щелочами.

Показано, что кватернизация *N*-додецилморфолина под действием галоидных алкилов весьма чувствительна к стерическим препятствиям при атаке третичного амина из аксиального положения. Синтез хлорида *N*-бензил-*N*-додецилморфолия осуществлен с выходом 59,5%, в то время как при взаимодействии *N*-додецилморфолина с 1,6-дибромгексаном выделить индивидуальные четвертичные аммонийные соли не удалось. Их образование зафиксировано спектральными методами с выходом, не превышающим 8%. Полученные экспериментальные данные объясняются с позиций стерических взаимодействий субстрат – реагент в реакциях нуклеофильного замещения, протекающих по механизмам  $S_N1$ - и  $S_N2$ -реакций, и сравниваются с результатами кватернизации пространственно незатрудненных третичных *N,N*-диалкил-*N*-додециламинов. Приведены методики синтеза, описаны физико-химические и спектральные характеристики синтезированных соединений.

**Ключевые слова:** морфолин, *N*-додецилморфолин, хлорид *N*-бензил-*N*-додецилморфолия, алкилирование, кватернизация, нуклеофильное замещение, стерические препятствия.

S. G. Mikhalenok, N. M. Kuz'menok, A. S. Orel, V. S. Bezborodov  
Belarusian State Technological University

### SYNTHESIS OF *N*-DODECYLMORPHOLINE AND ITS QUATERNIZATION

Alkylation of morpholine with an equimolar amount of dodecylbromide, followed by treatment of the reaction mixture with alkali, results in the formation of *N*-dodecylmorpholine in a low yield. It was found that half of the reacted base is used to displace the tertiary amine from the initially formed *N*-dodecylmorpholinium hydrobromide. A method of the synthesis of *N*-dodecylmorpholine in a yield of 82% is proposed. The method is based on the use of a double molar excess of morpholine.

It has been shown that the quaternization of *N*-dodecylmorpholine under the action of halide alkyls is very sensitive to steric hindrances in the attack of the tertiary amine from the axial position. Synthesis of *N*-benzyl-*N*-dodecylmorpholinium chloride was carried out in a yield of 59.5%, while the reaction of *N*-dodecylmorpholine with 1,6-dibromohexane failed to isolate the individual quaternary ammonium salts. Their formation in a yield not exceeding 8% was established by spectral methods. The prepared results are explained from the positions of steric substrate-reagent interactions in nucleophilic substitution reactions based on the mechanisms of  $S_N1$  and  $S_N2$  and are compared with the results of the quaternization of spatially uncomplicated tertiary *N,N*-dialkyl-*N*-dodecylamines. Synthetic methods are given, the physico-chemical and spectral characteristics of synthesized compounds are described.

**Key words:** morpholine, *N*-dodecylmorpholine, *N*-benzyl-*N*-dodecylmorpholinium chloride, alkylation, quaternization, nucleophilic substitution, steric hindrance.

**Введение.** В настоящее время поверхностно-активные вещества (ПАВ) используются в различных областях промышленности – это моющие средства, флотореагенты, стабилизаторы эмульсий и пен, диспергаторы минералов, антистатика, ингибиторы коррозии, деэмульгаторы и т. д. Такое широкое применение обусловлено их способностью в низких концентрациях значительно интенсифицировать тех-

нологические процессы, а также модифицировать поверхности, придавая им необходимые свойства [1–4].

Кроме того, избирательная адсорбция аниотропных ПАВ, различие степени их упорядоченности на поверхностях металлов и неорганических материалов могут приводить при их электрохимической обработке и, в частности, анодировании к образованию структурированных

покрытий. При этом очевидно, что соотношение размеров и упорядоченность пор, однородность и тип образующихся при электрохимической обработке или анодировании структурированных поверхностей будут зависеть не только от режимов, условий обработки, состава электролита, но и в значительной степени от типа и концентрации анизотропных поверхностно-активных добавок [5, 6].

Как видно, поиск перспективных анизотропных добавок, среди которых четвертичные аммониевые соли (ЧАС) занимают одно из центральных мест, для процессов создания наноструктурированных поверхностей является актуальной и практически важной задачей.

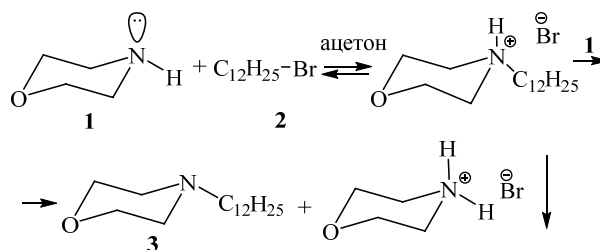
Цель настоящей работы состояла в синтезе четвертичных аммонийных солей на основе гетероциклических гидрированных азинов типа морфолина и пиперидина, вторичный атом азота которых после алкилирования галоидным алкилом с длинной углеводородной цепью мог быть подвергнут кватернизации с участием галоген- и дигалоалканов. В данной работе приведены результаты исследования реакции алкилирования морфолина додецилбромидом и последующей кватернизации полученного *N*-додецилморфолина бензилхлоридом и 1,6-дибромгексаном. Ранее нами было показано, что *N*-додецил-*N,N*-диметиламин успешно алкилируется перечисленными алкилирующими агентами, что позволило осуществить синтез хлоридов и бромидов соответствующих четвертичных аммонийных солей, при этом в случае 1,6-дибромгексана выделены соли типа «Gemini» [7]. В то же время синтез таких солей с участием *N*-додецил-*N,N*-диэтиламина оказался неуспешным, тогда как кватернизация этого амина под действием бензилхлорида не вызвала затруднений. Представляло интерес сравнить химическое поведение в реакциях кватернизации третичных аминов с фиксированными в цикле метиленовыми группами, связанными с атомом азота, с аналогичными третичными аминами типа *N*-додецил-*N,N*-диметил- и *N*-додецил-*N,N*-диэтиламинами, свободное вращение алкильных групп в которых не ограничено стерическими факторами.

**Основная часть.** Алкилирование симметричных вторичных аминов алкилгалогенидами представляет собой распространенную реакцию нуклеофильного замещения, которая, как правило, гладко протекает в апротонных полярных растворителях при использовании в качестве субстратов первичных галоидных алкилов. С целью минимизации расходования морфолина проведение его алкилирования додецилбромидом в ацетоне было решено провести в два этапа по методу 1:

а) смешиванием эквимолярных количеств амина **1** и галоидного алкила **2** для получения гидробромида *N*-додецилморфолина;

б) обработкой реакционной смеси водным раствором щелочи для выделения *N*-додецилморфолина **3** в виде основания.

Однако оказалось, что реализация этой реакции по описанной схеме не привела к ожидаемому выходу целевого амина. Обработка реакционной смеси основанием с последующим выделением *N*-додецилморфолина **3** показала, что на первом этапе реакции происходит алкилирование только половины из введенного в реакцию морфолина, тогда как вторая его половина расходуется на дегидробромирование первоначально образуемой соли бромид *N*-додецилморфолина и связывается в виде бромид морфолина:



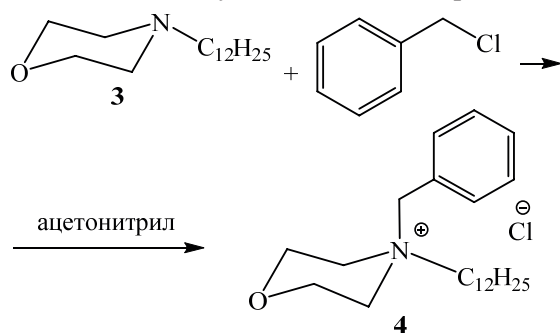
Полученные результаты можно объяснить с позиции сравнения основных свойств исходного нуклеофила и целевого амина. Очевидно, что основные свойства морфолина достаточно высоки, а нуклеофильные не столь выражены, вследствие чего свободный морфолин выступает как более сильное основание в отношении бромид *N*-додецилморфолина, вытесняя менее основной *N*-додецилморфолин из его соли. В силу стерических препятствий, создаваемых 1,3-диаксиальным взаимодействием протонами морфолинового цикла аксиальной атаке оказавшегося в избытке додецилбромид, последняя не реализуется вовсе, кватернизация *N*-додецилморфолина под действием избытка субстрата не происходит и дидодецилморфолиний бромид не фиксируется в реакционной смеси, как это наблюдается в случае алкилирования диметиламина додецилбромидом [8]. Это позволило количественно выделить не вступивший в реакцию додецилбромид **2** вакуумной перегонкой реакционной смеси после ее подщелачивания, экстрагирования и удаления растворителя. Выход целевого *N*-додецилморфолина **3** в этой реакции, осуществленной по методу 1, составил 38,3%.

Изменение мольного соотношения реагентов в реакции алкилирования морфолина до морфолин/додецилбромид 2 : 1 (метод 2) позволило использовать весь введенный в реакцию додецилбромид и увеличить выход *N*-додецилморфолина

до 82%. Отфильтрованный в виде соли бромид морфолина был регенерирован в морфолин обработкой щелочью с последующей перегонкой с выходом 53%.

Чистоту синтезированного *N*-додецилморфолина контролировали с помощью газожидкостной хроматографии (ГЖХ), при этом время удерживания амина (15,8 мин) существенно превосходит время удерживания додецилбромида (11,8 мин), что коррелирует с температурами кипения указанных соединений. Анализ ГЖХ-фракции третичного амина, полученной в результате вакуумной разгонки экстракта после удаления эфира, позволил определить содержание целевого третичного амина **3** в основной фракции (не менее 92%). Спектр  $^1\text{H}$  ЯМР синтезированного *N*-додецилморфолина также соответствует его структуре. Так, метиленовые протоны морфолинового цикла, связанные с кислородом, проявляются в виде синглета при 3,86 м. д., а связанные с азотом – в более сильном поле в виде уширенного синглета при 2,65 м. д. Сигнал протонов метиленовой группы додецильного радикала, связанной с азотом, проявляется при 2,51 м. д., а концевой метильной группы – в виде триплета при 0,88 м. д. Сигналы 20 протонов метиленовых групп углеводородного фрагмента проявляются в виде характерной группы сигналов при 1,26–1,85 м. д. Полученные спектральные данные согласуются с приведенными в литературе спектральными характеристиками *N*-додецилморфолина, синтезированного другим способом [9].

Кватернизацию *N*-додецилморфолина **3** бензилхлоридом осуществляли кипячением эквимолярной смеси реагентов в ацетонитриле в течение 6 ч с последующей кристаллизацией *N*-бензил-*N*-додецилморфолиний хлорида **4** из этилацетата после удаления ацетонитрила:



Спектр  $^1\text{H}$  ЯМР синтезированной соли **4** согласуется с ее структурой. Так, в спектре  $^1\text{H}$  ЯМР хлорида *N*-бензил-*N*-додецилморфолина присутствуют сигналы бензильных протонов (5,18 м. д.) и протонов бензольного кольца (3H, м., 7,45 м. д. и 2H, м., 7,69 м. д.). Сигналы протонов метиленовых групп, связанных с четвертичным азотом, сдвинулись, как и следовало

ожидать, в слабое поле по сравнению с сигналами этих же протонов в третичном аине **3** и проявились в виде характерных мультиплетов в области 3,60–4,15 м. д., а сигнал метиленовой группы додецильного фрагмента, удаленной на один атом углерода от азота, переместился в слабое поле на 0,24 м. д., в то время как вид и положение сигналов более удаленных протонов этой группы остался без изменения. Аналогичные смещения сигналов протонов метильных и метиленовых групп, связанных с четвертичным атомом азота, наблюдались в спектре  $^1\text{H}$  ЯМР *N*-метил-*N*-бензилморфолиний хлорида [10].

В отличие от бензилхлорида реакция *N*-додецилморфолина с 1,6-дибромгексаном в ацетонитриле оказалась неоднозначной и не позволила выделить четвертичную соль как индивидуальное соединение ни в виде моно-, ни в виде диаммонийной соли. За ходом реакции следили с помощью метода тонкослойной хроматографии (ТСХ), при этом свободный амин четко фиксировался при проявлении в растворе подкисленного перманганата калия и отличался от солей более высокой хроматографической подвижностью. Кипячение реакционной смеси в течение 30 ч с последующим удалением растворителя, растворением непрореагировавшего амина в эфире позволило отделить нерастворимую в эфире фракцию, обогащенную малоподвижными солями, которая составляла 8% от общей массы реакционной смеси. Анализ спектра  $^1\text{H}$  ЯМР этой фракции позволил установить, что кроме исходного *N*-додецилморфолина в ней содержится до 30% солеобразных соединений, сигналы протонов метиленовых групп морфолинового цикла которых, как и в случае соли **4**, расположены в более слабом поле. Однако произвести более точную идентификацию этих сигналов по спектру смеси соединений оказалось затруднительным.

Полученные результаты по реакциям *N*-додецилморфолина с бензилхлоридом и 1,6-дибромгексаном могут быть интерпретированы с позиций стерических взаимодействий субстрата и реагента в реакциях нуклеофильного замещения. Известно, что в морфолине атом водорода находится в экваториальном положении, а неподеленная электронная пара атома азота занимает аксиальное положение. Показано также, что в *N*-алкилированных морфолинах объемная алкильная группа занимает более выгодное экваториальное положение и инверсия цикла значительно затрудняется этим обстоятельством [11]. Это приводит к тому, что при кватернизации *N*-додецилморфолина атака галогидного алкила должна осуществляться из аксиального положения, чему препятствуют аксиальные протоны в положениях 2 и 6 морфолинового

цикла. Известно также, что бензилхлорид является активным субстратом в  $S_N1$ -реакциях, стерические взаимодействия для которых не столь существенны. Плоский бензильный катион способен атаковать *N*-додецилморфолин даже из затрудненного аксиального положения, результатом чего является образование четвертичной аммонийной соли **4**. Однако для 1,6-дибромгексана, как первичного галоидного алкила, предпочтительна  $S_N2$ -реакция, в которой в качестве атакующего реагента выступает объемный стерически фиксированный *N*-додецилморфолин. Пространственные препятствия для реализации пентакоординационного переходного состояния с участием 1,6-дибромгексана в этой реакции с *N*-додецилморфолином оказываются непреодолимыми, что затрудняет образование соответствующих четвертичных аммонийных солей. В то же время в отличие от *N*-додецилморфолина кватернизацию пространственно незатрудненного *N*-додецил-*N,N*-диметиламина с участием 1,6-дибромгексана для получения четвертичных аммонийных солей типа «Gemini» удалось успешно осуществить в ацетоне при комнатной температуре [7].

**Экспериментальная часть.** Использованные в работе химические реактивы имели квалификацию «ч.», «ч. д. а.», «х. ч.». Подготовка и очистка растворителей осуществлялись по традиционным методам [12]. Спектры  $^1\text{H}$  ЯМР растворов веществ в  $\text{CDCl}_3$  получены на спектрометре Bruker Avance-400 (400 МГц), внутренний эталон – тетраметилсилан (ТМС). Контроль за ходом реакции и индивидуальностью полученных соединений осуществляли методом ТСХ на пластинках Kieselgel 60 F<sub>254</sub> или методом ГЖХ на газоожидкостном хроматографе Agilent HP-4890D. Температуры плавления измерялись на приборе Büchi B-540.

*N*-додецилморфолин **3**. *Метод 1.* Смешивают в колбе 25,2 г (0,289 моль) морфолина с 69 мл (72,0 г, 0,289 моль) додецилброма, прибавляют 30 мл ацетона и кипятят с обратным холодильником 2 ч. При охлаждении выпадает осадок брома морфолина, который отфильтровывают, промывая ацетоном. Ацетон упаривают на роторном испарителе при пониженном давлении, а к маслообразному остатку приливают 100 мл 10%-ного водного раствора гидроксида натрия. После расслоения на две фазы отделяют верхний слой амина, а водный слой экстрагируют диэтиловым эфиром (3×50 мл). Объединенные эфирные вытяжки смешивают с амином и сушат раствор над твердой щелочью. После упаривания эфира остаток перегоняют в вакууме, выделяя 38,5 г додецилброма (52% от введенного) при 100–142°C (2,3 мм рт. ст.) и 28,3 г (38,3%) *N*-додецилморфолина с темпе-

ратурой кипения 143–145°C (2,3 мм рт. ст.). При охлаждении в холодильнике соединение **3** твердеет, образуя белое парафинообразное вещество с температурой плавления 15°C.

*Метод 2.* Смешивают в колбе 25 г (0,287 моль) морфолина с 32 мл (33,5 г, 0,135 моль) додецилброма, прибавляют 20 мл ацетона и кипятят с обратным холодильником 6 ч. Ацетон упаривают, а к остатку приливают 100 мл 10%-ного раствора натрий гидроксида. Отделяют верхний слой амина, а водный слой экстрагируют эфиром (3×50 мл). Объединенные эфирные вытяжки смешивают с амином и сушат раствор над твердой щелочью. После упаривания эфира остаток перегоняют в вакууме, выделяя фракцию с температурой кипения 143–145°C (2 мм рт. ст.). Выделяют 28,2 г *N*-додецилморфолина (82%). В холодильнике соединение твердеет, образуя белое парафинообразное вещество с температурой плавления 15°C, спектральные характеристики которого тождественны соединению, полученному по методу 1.  $^1\text{H}$  ЯМР-спектр ( $\text{CDCl}_3$ ,  $\delta$ ): 0,88 (3H, т.,  $J = 7,0$  Гц,  $\text{CH}_3$ ), 1,26–1,45 (18H, м., 9 $\text{CH}_2$  из додецила), 1,61 (2H, м.,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{C}_{10}\text{H}_{21}$ ), 2,51 (2H, с.,  $\text{NCH}_2\text{C}_{11}\text{H}_{23}$ ), 2,65 (4H, уш. с.,  $\text{CH}_2\text{-N-CH}_2$ ), 3,86 (4H, уш. с.,  $\text{CH}_2\text{-O-CH}_2$ ).

*N*-бензил-*N*-додецилморфолиний хлорид **4**. К 12,27 г (0,048 моль) *N*-додецилморфолина прибавляют 20 мл ацетонитрила и 5,8 мл (6,3 г, 0,05 моль) бензилхлорида. Кипятят реакционную смесь в течение 5 ч, после чего ацетонитрил упаривают, а маслообразный остаток растворяют в горячем этилацетате, из которого при охлаждении кристаллизуется 10,5 г кристаллического продукта. При упаривании маточника дополнительно еще отделяют 0,4 г кристаллов. Общий выход *N*-бензил-*N*-додецилморфолиний хлорида составляет 10,9 г (59,5%), температура плавления равна 110–125°C.  $^1\text{H}$  ЯМР-спектр ( $\text{CDCl}_3$ ,  $\delta$ ): 0,88 (3H, т.,  $J = 7,0$  Гц,  $\text{CH}_3$ ), 1,26–1,45 (18H, м., 9 $\text{CH}_2$  из додецила), 1,85 (2H, м.,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{C}_{10}\text{H}_{21}$ ), 3,70 (4H, м.), 3,80 (2H, м.), 4,00 (2H, м.), 4,11 (2H, м.), 5,18 (2H, с.,  $\text{CH}_2\text{-Ph}$ ), 7,45 (3H, м., Ph), 7,69 (2H, м., Ph).

Реакция *N*-додецилморфолина с 1,6-дибромгексаном. 7,65 г (0,03 моль) *N*-додецилморфолина растворяют в 10 мл ацетона и прибавляют 3,24 г (0,015 моль) 1,6-дибромгексана. Реакционную смесь кипятят с обратным холодильником в течение 5 ч, контролируя реакцию с помощью ТСХ. Ацетон упаривают и заменяют на 10 мл ацетонитрила, что позволяет повысить температуру реакции. Кипятят реакционную смесь на протяжении 10 ч, при этом хроматографически фиксируют появление на старте малоподвижного пятна при высоком содержании



исходного амина. Заменяют ацетон на толуол и продолжают кипячение 10 ч. Ход реакции контролируют ТСХ. Растворитель упаривают, маслообразный остаток растворяют в 20 мл эфира, эфирный раствор декантируют, а нерастворимый остаток массой 0,9 г после удаления остатков диэтилового эфира в вакууме анализируют с помощью спектроскопии  $^1\text{H}$  ЯМР.

**Заключение.** Отработана методика синтеза *N*-додецилморфолина алкилированием морфолина додецилбромидом с использова-

нием двукратного избытка вторичного амина с выходом 82%. Показано, что кватернизация *N*-додецилморфолина под действием галоидных алкилов весьма чувствительна к стерическим препятствиям при атаке третичного амина из аксиального положения. Синтез хлорида *N*-бензил-*N*-додецилморфолина осуществлен с выходом 59,5%, в то время как при взаимодействии *N*-додецилморфолина с 1,6-дибромгексаном образуется смесь солей с выходом, не превышающим 8%.

### Литература

1. Ланге К. Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение. СПб.: Профессия, 2005. 240 с.
2. Surfactant-Modified Ultrafine Gold Nanoparticles with Magnetic Responsiveness for Reversible Convergence and Release of Biomacromolecules / L. Xu [et al.] // *Langmuir*. 2017. Vol. 33, no. 12. P. 3047–3055. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b04591.
3. Bubble adhesion onto the hydrophobic surface in solutions of non-ionic surface-active agents / P. Basařová [et al.] // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016. Vol. 505. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.11.069.
4. Wang X. P., Xiao H. B. Synthesis of Amide-Based Surfactant Inhibitor for Carbon Steel Corrosion Protection Electrochemical Analysis // *International Journal of Electrochemical Science*. 2017. Vol. 12, no. 1. P. 268–279. DOI: 10.20964/2017.01.14.
5. Hecht D. S., Hu L., Irvin G. Emerging Transparent Electrodes Based on Thin Films of Carbon Nanotubes, Graphene, and Metallic Nanostructures // *Advanced Materials*. 2014. Vol. 23, no. 13. P. 1482–1513. DOI: 10.1002/adma.201003188.
6. Kaur H., Sharma L., Kushwaha M. Effect of Anionic Surfactant on the Growth of Anodic Nanoporous Aluminum Oxide // *ECS Journal of Solid State Science and Technology*. 2016. Vol. 5, no. 12. P. M154–M157. DOI: 10.1149/2.0151612jss.
7. Безбородов В. С., Кузьменок Н. М., Михалёнок С. Г. Синтез дифильных соединений на основе четвертичных аммонийных солей типа «Gemini» // *Технология органических веществ: тезисы 81-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 1–12 февр. 2017 г. Минск, 2017. С. 69–70.*
8. Kharlamov A. V., Artyushin O. I., Bondarenko N. A. Synthesis of some acyclic quaternary ammonium compounds. Alkylation of secondary and tertiary amines in a two-phase system // *Russian Chemical Bulletin*. 2014. Vol. 63, no. 11. P. 2445–2454. DOI: 10.1007/s11172-014-0761-x.
9. Development of a general non-noble metal catalyst for the benign amination of alcohols with amines and ammonia / X. Cui [et al.] // *Chemistry – A European Journal*. 2013. Vol. 19, no. 11. P. 3665–3675. DOI: 10.1002/chem.201203417.
10. Maraš N., Polanc S., Kočevar M. Synthesis of aryl alkyl ethers by alkylation of phenols with quaternary ammonium salts // *Acta Chimica Slovenica*. 2010. Vol. 57, no. 1. P. 29–36.
11. Conformational analysis of morpholine studied using Raman spectroscopy and density functional theoretical calculations / S. SenGupta [et al.] // *Chemical Physics Letters*. 2015. Vol. 639. P. 1–6. DOI: 10.1016/j.cplett.2015.09.003.
12. Armarego W. L. F., Chai C. L. L. Purification of laboratory chemicals. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013. 1024 p.

### References

1. Lange K. R. *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva: sintez, svoystva, analiz, primeneniye* [Surfactants: synthesis, properties, analysis, application]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2005. 240 p.
2. Xu L., Dong S., Hao J., Cui J., Hoffmann H. Surfactant-Modified Ultrafine Gold Nanoparticles with Magnetic Responsiveness for Reversible Convergence and Release of Biomacromolecules. *Langmuir*, 2017, vol. 33, no. 12, pp. 3047–3055. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b04591.
3. Basařová P., Váňková T., Moore G., Nannetti G., Váňková J. Bubble adhesion onto the hydrophobic surface in solutions of non-ionic surface-active agents. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2016, vol. 505, pp. 64–71. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.11.069.

4. Wang X. P., Xiao H. B. Synthesis of Amide-Based Surfactant Inhibitor for Carbon Steel Corrosion Protection Electrochemical Analysis. *International Journal of Electrochemical Science*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 268–279. DOI: 10.20964/2017.01.14.

5. Hecht D. S., Hu L., Irvin G. Emerging Transparent Electrodes Based on Thin Films of Carbon Nanotubes, Graphene, and Metallic Nanostructures. *Advanced Materials*, 2014, vol. 23, no. 13, pp. 1482–1513. DOI: 10.1002/adma.201003188.

6. Kaur H., Sharma L., Kushwaha M. Effect of Anionic Surfactant on the Growth of Anodic Nanoporous Aluminum Oxide. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2016, vol. 5, no. 12, pp. M154–M157. DOI: 10.1149/2.0151612jss.

7. Bezborodov V. S., Kuz'menok N. M., Mikhalenok S. G. [Synthesis of diphilic compounds based on quaternary ammonium salts of the “Gemini” type]. *Tezisy 81-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (Tekhnologiya organicheskikh veshchestv)* [Theses of the 81<sup>st</sup> scientific-technical conferences of faculty, researchers and post-graduate students (Technology of organic substances)]. Minsk, 2017, pp. 69–70 (In Russian).

8. Kharlamov A. V., Artyushin O. I., Bondarenko N. A. Synthesis of some acyclic quaternary ammonium compounds. Alkylation of secondary and tertiary amines in a two-phase system. *Russian Chemical Bulletin*, 2014, vol. 63, no. 11, pp. 2445–2454. DOI: 10.1007/s11172-014-0761-x.

9. Cui X., Dai X., Deng Y., Shi F. Development of a general non-noble metal catalyst for the benign amination of alcohols with amines and ammonia. *Chemistry – A European Journal*, 2013, vol. 19, no. 11, pp. 3665–3675. DOI: 10.1002/chem.201203417.

10. Maraš N., Polanc S., Kočevar M. Synthesis of aryl alkyl ethers by alkylation of phenols with quaternary ammonium salts. *Acta Chimica Slovenica*, 2010, vol. 57, no. 1, pp. 29–36.

11. SenGupta S., Maiti N., Chadha R., Kapoor S. Conformational analysis of morpholine studied using Raman spectroscopy and density functional theoretical calculations. *Chemical Physics Letters*, 2015, vol. 639, pp. 1–6. DOI: 10.1016/j.cplett.2015.09.003.

12. Armarego W. L. F., Chai C. L. L. Purification of laboratory chemicals. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2013. 1024 p.

#### Информация об авторах

**Михалёнок Сергей Георгиевич** – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой органической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: serge\_msg@yahoo.com

**Кузьменок Нина Михайловна** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры органической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kuznm@yahoo.co.uk

**Орёл Александр Станиславович** – магистр химических наук, младший научный сотрудник кафедры органической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: olegek993@gmail.com

**Безбородов Владимир Степанович** – доктор химических наук, профессор кафедры органической химии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v\_bezborodov@yahoo.com

#### Information about the authors

**Mikhalenok Sergey Georgievich** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Head of the Department of Organic Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: serge\_msg@yahoo.com

**Kuz'menok Nina Mikhailovna** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Organic Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kuznm@yahoo.co.uk

**Orel Aleksandr Stanislavovich** – Master of Chemistry, Junior Researcher, the Department of Organic Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olegek993@gmail.com

**Bezborodov Vladimir Stepanovich** – DSc (Chemistry), Professor, the Department of Organic Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v\_bezborodov@yahoo.com

Поступила 02.05.2017