Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93. Вып. 7 УДК 547.22

СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЙНЫХ СОЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ *гем*-ДИХЛОРЦИКЛОПРОПАНОВЫЙ И 1,3-ДИОКСОЛАНОВЫЙ ФРАГМЕНТЫ

© Г. Н. Сахабутдинова, Е. А. Яковенко, Г. З. Раскильдина, С. С. Злотский

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1
E-mail: graskildina444@mail.ru

Поступила в Редакцию 22 сентября 2019 г.
После доработки 17 марта 2020 г.
Принята к публикации 8 апреля 2020 г.

Синтезированы с высоким выходом четвертичные аммонийные соли, содержащие гем-дихлорциклопропановые и 1,3-диоксолановые группы. Изучены реакции дихлоркарбенирования стирола и О-алкилирования 2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолана в присутствии четвертичных аммонийных солей. Установлено, что в реакции О-алкилирования максимальной эффективностью в ряду изученных катализаторов обладают соединения, содержащие циклоацетальные и аллильные группы. Структуры выделенных солей были доказаны методами ЯМР ^{1}H и ^{13}C спектроскопии.

Ключевые слова: *четвертичная аммонийная соль; гем-дихлорциклопропановый и 1,3-диоксолановый фрагменты; гексаметилентетрамин; 4-[(аллилокси)метил]-2,2-диметил-1,3-диоксолан*
DOI: 10.31857/S004446182007004X

Четвертичные аммонийные соли являются одним из наиболее часто применяемых классов дезинфицирующих средств в медицине, текстильной, лакокрасочной и пищевой промышленности благодаря их относительно низкой токсичности для человека и животных [1–3]. Этим определяется важность и актуальность синтеза новых четвертичных аммонийных солей и оценка их каталитической активности в реакциях.

В работе [4] предложен способ получения четвертичных солей из легкодоступных соединений пиридина в качестве исходных реагентов. Недостатками данного способа являются многостадийность синтеза и продолжительность реакции.

Ранее нами было показано, что присутствие *гем*-дихлорциклопропанового и циклоацетального фрагментов в структуре молекул повышает их биологическую активность [5]. Целью настоящей работы являлось получение новых четвертичных аммонийных солей, содержащих *гем*-дихлорциклопропановый и 1,3-диоксолановый фрагменты, и оценка их каталитической активности в реакциях дихлоркарбенирования стирола и О-алкилирования 2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолана.

Экспериментальная часть

Хроматографический анализ продуктов реакции выполняли на хроматографе HRGC 5300 Mega Series Carlo Erba с пламенно-ионизационным детектором, газ-носитель — гелий, расход 30 мл·мин$^{-1}$, колонка капиллярная длиной 25 м, фаза SE-30. Условия анализа: программирование температуры от 50 до 280°C со скоростью подъема 8 град·мин$^{-1}$, температура детектора 250°C, испарителя — 300°C, газ-носитель — гелий, 30 мл·мин$^{-1}$. Идентификацию продуктов осуществляли по известным значениям времени удерживания. Масс-спектры получали на приборе Кристалл-5000М (капиллярная колонка длиной 30 м, температура в колонке от 80 до 280°C, температура переходной линии 300°C, температура источника ионов 300°C). Повышение температуры происходило со скоростью 20 град·мин$^{-1}$. Газ-носитель — гелий. Спектры ЯМР регистрировали на

спектрометре Bruker AVANCE-500 (^{1}H 500.13 МГц) в $CDCl_3$.

В работе использовались свежеперегнанные растворители фирмы ООО «Техресурс»: хлористый метилен (х.ч.), хлороформ (х.ч.), петролейный эфир (х.ч.), бензол (х.ч.), толуол (х.ч.); свежепрокаленные соли фирмы ООО «Стеклоприбор»: $CaCl_2$ («чистый»), $MgSO_4$ («чистый»); третичные амины — 4-[(2,2-дихлороциклопропил)метил]морфолин, 4-(1,3-диоксолан-2-илметил)морфолин, 4-(1,3-диоксолан-4-илметил)морфолин, полученные по методике [6].

Общая методика получения четвертичных аммонийных солей (4-[(2,2-дихлорциклопропил)метил]-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромида или хлорида, 4-(1,3-диоксолан-2-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромида или хлорида, 4-(1,3-диоксолан-4-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромида или хлорида, 4-бензил-4-(1,3-диоксолан-2-илметил)морфолиниум-4 бромида или хлорида). В круглодонную колбу емкостью 100 мл загружали 0.5 г (0.002 моль) 4-[(2,2-дихлороциклопропил)метил]-морфолина, либо 0.3 г (0.002 моль) 4-(1,3-диоксолан-2-илметил)морфолина, либо 0.3 г (0.002 моль) 4-(1,3-диоксолан-4-илметил)морфолина и 0.002 моль бромистого (либо хлористого) аллила (либо бензила). Реакционную массу выдерживали 2 ч при комнатной температуре. Продукт, первоначально выпавший в виде масла, полностью закристаллизовывался. Смесь отфильтровывали, остаток на фильтре промывали бензолом (2 × 100 мл) и сушили в вакууме.

4-[(2,2-Дихлорциклопропил)метил]-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид (1а) или хлорид (2а). Белый порошок, выход (1а) — 87, (2а) — 70%; $T_{пл}$ 60 (1а) и 53°C (2а). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 1.67 т (1H, $C^{10}H_{2a}$, *J* 7.7 Гц), 2.03 т (^{1}H, $C^{10}H_{2b}$, *J* 7.7 Гц), 2.30–2.41 м (^{1}H, C^8H), 3.76 т (4H, $2C^{3,5}H_2$, *J* 8.6 Гц), 3.83–3.89 м (2H, C^7H_2), 4.03–4.09 м (2H, $C^{13}H_2$), 4.19 т (4H, $2C^{2,6}H_2$, *J* 8.6 Гц), 5.75 д (1H, $C^{15}H_{2a}$, *J* 9.7 Гц), 5.95 д (1H, $C^{15}H_{2b}$, *J* 9.7 Гц), 6.10–6.14 м (1H, $C^{14}H$). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м. д.: 23.33 (C^8H), 26.32 ($C^{10}H_2$), 56.84 ($2C^{3,5}H_2$), 57.27 (C^7H_2), 60.51 ($2C^{2,6}H_2$), 60.58 (C^9), 61.24 ($C^{13}H_2$), 123.54 ($C^{14}H$), 130.83 ($C^{15}H_2$).

4-(1,3-Диоксолан-2-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид (1б) или хлорид (2б). Белый порошок, выход (1б) — 81, (2б) — 66%; $T_{пл}$ 63 (1б) и 60°C (2б). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 3.47–3.59 м (1H, $2C^{8,12}H_2$), 3.67 д (2H, C^6H_2, *J* 4.3 Гц), 3.86 т (2H, C^5H_2, *J* 7.0 Гц), 3.93–3.96 м (4H, $2C^{9,11}H_2$), 3.98 т (2H, т, C^4H_2, *J* 7.0 Гц), 4.34 д (2H, $C^{13}H_2$, *J* 7.1 Гц), 5.50 т (1H, C^2H, *J* 4.2 Гц), 5.64 д (1H, $C^{15}H_{2a}$, *J* 10.3 Гц), 5.72 д (1H, $C^{15}H_{2b}$, *J* 10.3 Гц), 5.99–6.09 м (1H, $C^{14}H$). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м. д.: 58.62 ($2C^{8,12}H_2$), 59.01 ($C^{13}H_2$), 59.93 ($2C^{9,11}H_2$), 62.23 (C^6H_2), 65.13 ($2C^{4,5}H_2$), 97.52 (C^2H), 125.52 ($C^{14}H$), 128.70 ($C^{15}H_2$).

4-(1,3-Диоксолан-4-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид (1в) или хлорид (2в). Белый порошок, выход (1в) — 50, (2в) — 40%; $T_{пл}$ 65 (1в) и 61°C (2в). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 3.43–3.55 м (1H, $2C^{8,12}H_2$), 3.62 д (2H, C^6H_2, *J* 4.3 Гц), 3.66–4.10 м (2H, C^4H_2), 3.90–3.98 м (4H, $2C^{9,11}H_2$), 4.33 д (2H, $C^{13}H_2$, *J* 7.1 Гц), 4.57 к (1H, C^5H, *J* 7.0 Гц), 4.93 с (2H, C^2H_2), 5.62 д (1H, $C^{15}H_{2a}$, *J* 10.3 Гц), 5.70 д (1H, $C^{15}H_{2b}$, *J* 10.3 Гц), 5.96–6.00 м (1H, $C^{14}H$). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м. д.: 60.52 ($2C^{8,12}H_2$), 61.50 ($C^{13}H_2$), 61.60 ($2C^{9,11}H_2$), 63.53 (C^6H_2), 75.03 (C^4H_2), 75.74 (C^5H), 93.83 (C^2H_2), 125.52 ($C^{15}H_2$), 131.80 ($C^{14}H$).

4-Бензил-4-(1,3-диоксолан-2-илметил)морфолиниум-4 бромид (1г) или хлорид (2г). Белый порошок, выход (1г) — 83, (2г) — 79%; $T_{пл}$ 56 (1г) и 53°C (2г). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 1.56 т (1H, $C^{10}H_{2a}$, *J* 7.6 Гц), 1.64 т (1H, $C^{10}H_{2b}$, *J* 7.6 Гц), 1.78–2.12 м (1H, C^8H), 3.35 т (4H, $2C^{3,5}H_2$, *J* 8.6 Гц), 3.710–3.77 м (2H, C^7H_2), 4.07 т (4H, $2C^{2,6}H_2$, *J* 8.6 Гц,), 4.84 с (1H, $C^{11}H_2$), 7.30 т (2H, $2C^{14,16}H$, *J* 9.7 Гц), 7.33 т (1H, $C^{15}H$, *J* 9.7 Гц), 7.45 т (2H, $2C^{13,17}H$, *J* 9.7 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м. д.: 27.32 ($C^{10}H_2$), 29.05 (C^8H), 58.51 (C^7H_2), 61.66 (C^9), 62.27 ($2C^{2,6}H_2$), 63.50 ($C^{11}H_2$), 63.53 ($2C^{3,5}H_2$), 127.04 (C^{12}), 129.44 ($2C^{14,16}H$), 130.34 ($C^{15}H$), 134.69 ($2C^{13,17}H_2$).

Общая методика получения 1-[(2,2-дихлорциклопропил)метил]-3,5,7-триаза-1-азониатрицикло[3,3,1,1]декан бромида и хлорида. В круглодонную колбу емкостью 100 мл, снабженную обратным холодильником с хлоркальциевой трубкой, помещали раствор 1 г (0.007 моль) гексаметилентетрамина (уротропина) в 10 мл хлороформа и при перемешивании прибавляли раствор 0.007 моль 2-(бромметил)-1,1-дихлорциклопропана либо 2-(хлорметил)-1,1-дихлорциклопропана в 10 мл хлороформа. Реакционную смесь кипятили на водяной бане при 60°C в течение 4 ч, затем охлаждали и добавляли равное по объему количество сухого петролейного эфира. Выпавший осадок отфильтровывали, тщательно промывали сухим эфиром и высушивали в вакууме при температуре 35-40°C.

1-[(2,2-Дихлорциклопропил)метил]-3,5,7-триаза-1-азониатрицикло[3,3,1,1]декан бромид (3а) или хлорид (3б). Желтый порошок, выход (3а) — 68, (3б) — 55%; $T_{пл}$ 48 (3а) и 39°C (3б). Спектр ЯМР ^{1}H, δ, м. д.: 0.89 т (1H, $C^{14}H_{2a}$, *J* 7.7 Гц), 1.06 т (1H, $C^{14}H_2$, H_b, *J* 7.7 Гц), 1.56–1.68 м (1H, $C^{12}H$), 2.31 д.д (1H, $C^{11}H_{2a}$, *J* 13.8 Гц, *J* 8.7 Гц), 2.54 д.д (1H, $C^{11}H_{2b}$, *J* 13.8 Гц, *J* 8.7 Гц), 3.70–3.79 м (6H, $3C^{2,8,10}H_2$), 4.61–4.68 м (6H, $3C^{4,6,9}H_2$). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м. д.: 21.06

($C^{12}H$), 25.87 ($C^{14}H_2$), 55.18 (C^3H_2), 59.07 (C^9), 69.64 ($3C^{2,8,10}H_2$), 78.10 ($3C^{4,6,9}H_2$).

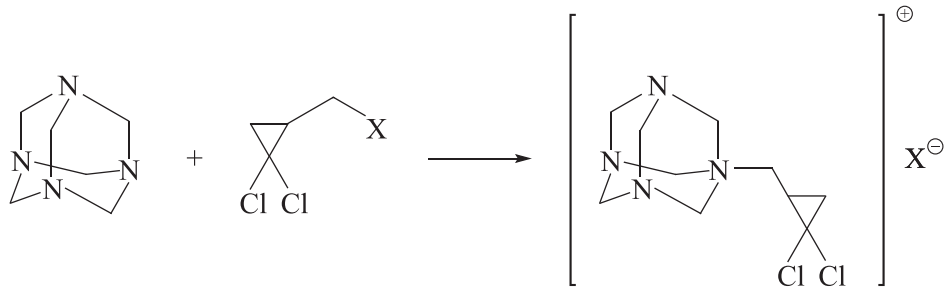
Методика получения 4-[(аллилокси)метил]-2,2-диметил-1,3-диоксолана. К раствору 4 г (0.03 моль) 2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолана в 30 мл толуола и 0.003 моль катализатора (1б), либо (1в), либо триэтиламмония бромида, либо (1а), либо (1г), либо (3а) при интенсивном перемешивании при 30°C прибавляли 50 г 50%-ного раствора NaOH. Затем через 2 ч прикапывали 11.5 г (0.15 моль) хлористого аллила. Пробу отбирали каждый час. По завершении реакции смесь промывали водой, экстрагировали хлористым метиленом (3 × 30 мл), сушили над безводным $MgSO_4$ и удаляли растворитель.

4-[(Аллилокси)метил]-2,2-диметил-1,3-диоксолан (4). Выход 94%, бесцветная жидкость, $T_{кип}$ 74°C (5 мм рт. ст.). Спектр ЯМР ^1H, δ, м. д.: 1.32 с (3H, $C^{2''}H_3$), 1.40 с (3H, $C^{2'}H_3$), 3.43 д.д (1H, C^6H_a, *J* 9.9 Гц, *J* 5.5 Гц), 3.50 д.д (1H, C^6H_b, *J* 9.8 Гц, *J* 5.8 Гц), 3.71 т (1H, C^5H_a, *J* 8.3 Гц, *J* 6.5 Гц), 3.97–4.06 м (3H, C^5H_b, C^8H_2), 4.26 т (1H, C^4H, *J* 5.9 Гц), 5.16 д (1H, $C^{10}H_a$, *J* 1.3 Гц, *J* 10.4 Гц), 5.26 д (1H, $C^{10}H_b$, *J* 1.4 Гц, *J* 15.6 Гц), 5.83–5.93 м (1H, C^9H). Спектр ЯМР ^{13}C, δ, м. д.: 25.34 ($C^{2''}$), 26.70 ($C^{2'}$), 66.77 (C^5), 71.02 (C^6), 72.44 (C^8), 74.65 (C^4), 109.35 (C^2), 117.31 (C^{10}), 134.41 (C^9). Масс-спектр, *m*/*z* ($I_{отн}$, %): 172 (нет), 157 (100), 101(81), 73 (9), 55 (16), 43 (45).

Обсуждение результатов

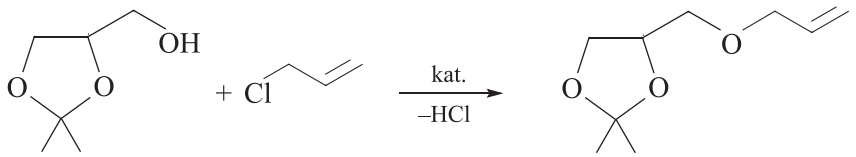
Реакцией третичных аминов на основе морфолина и галогенпроизводных аллила или бензила с количественным выходом были получены соответствующие четвертичные аммонийные соли. Лучшие результаты [выход солей (1а–г) 80–90%] получены при использовании аллил- и бензилбромидов. Выход четвертичных солей (2а–г) из соответствующих хлоридов не превышал 10%. Амины, содержащие 1,3-диоксолановые группы, образуют соли (1б,в) с близким выходом (84 и 88% соответственно) и более активны, чем производное *гем*-дихлорциклопропана [выход солей (1а) и (1г) — 76 и 72% соответственно] (см. схему).

В этих же условиях на основе хорошо известного гексаметилентетрамина (уротропина) мы получили бромид (3а) и хлорид (3б), содержащие *гем*-дихлорциклопропановый фрагмент с выходом 68 и 55% соответственно:



X = Br (3а), Cl (3б) (3а), (3б)

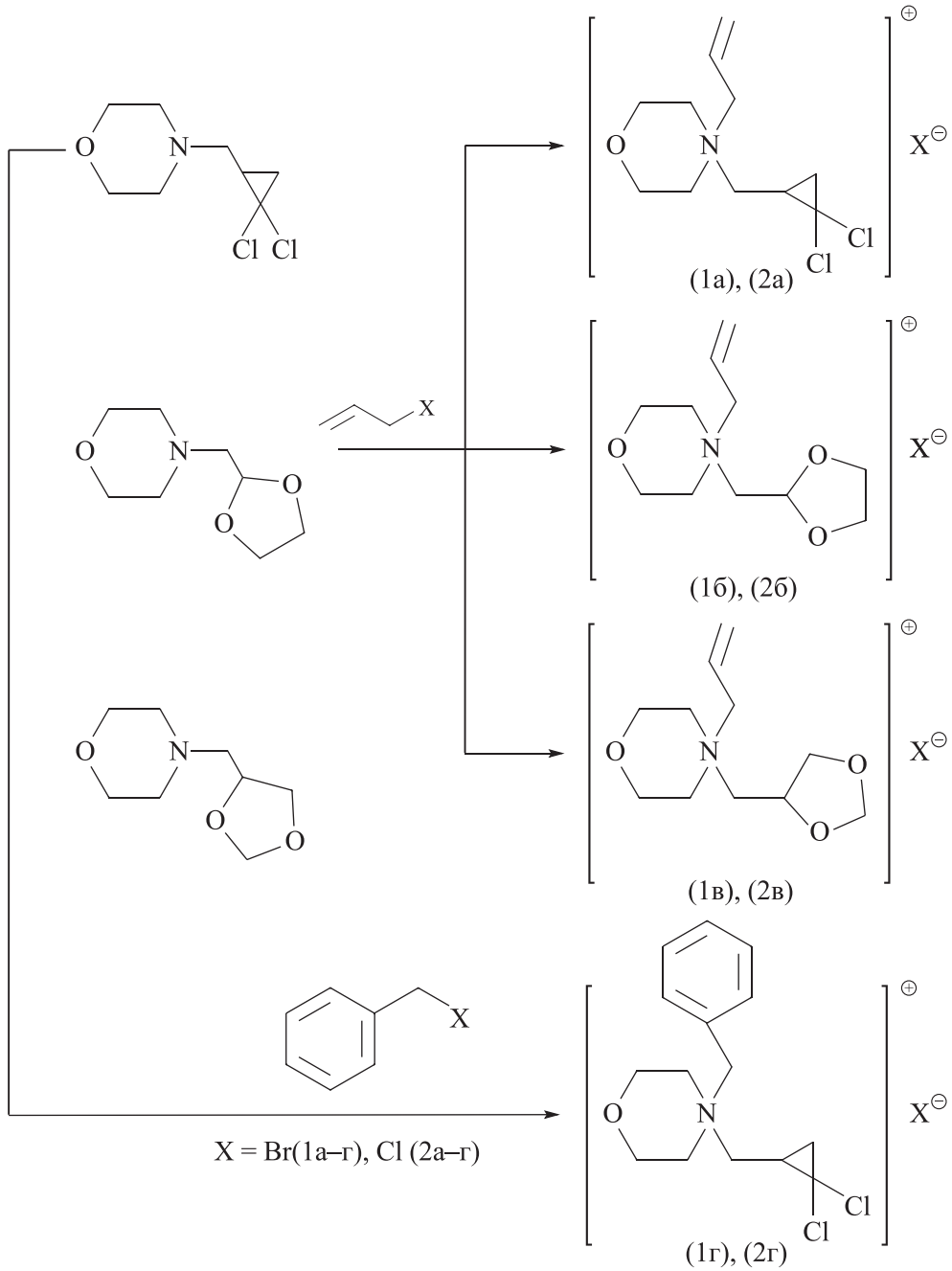
Была определена каталитическая активность полученных бромидов (1а–в), (3а) в реакции О-алкилирования хорошо известного гетероциклического спирта (2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолана) хлористым аллилом. Ранее мы нашли, что эфир (4) обладает гербицидными свойствами [7] и на его основе могут быть получены полифункциональные гликоли — полупродукты синтеза лекарств [8, 9]:



(4)

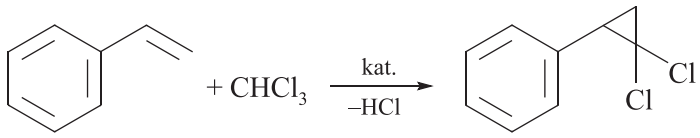
Из полученных данных (рис. 1) следует, что максимальной эффективностью в ряду изученных катализаторов обладают четвертичные соли (1б, в), в которых присутствуют циклоацетальная и аллильная группы, аналогичные реагентам — спирту и олефину. Можем предположить, что в ряду изученных солей (1а) и (1б) лучше ассоциируются с молекулами оксиметилкеталя и хлористого аллила, что повышает эффективность О-алкилирования и способствует росту выхода целевого простого эфира (4). Известный катализатор три-

Схема



этилбензиламмоний бромид и четвертичная соль (1а), содержащая *гем*-дихлорциклопропановый фрагмент, по активности близки, а производное уротропина в этих условиях наименее активно.

В дихлоркарбенировании стирола в условиях межфазного катализа [10] лучшие результаты получены при использовании соли (1г), содержащей *гем*-дихлорциклопропановый фрагмент (рис. 2).



(5)

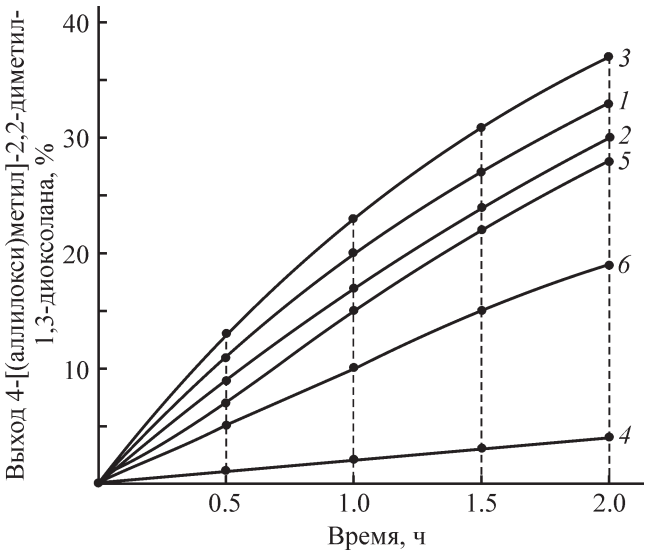


Рис. 1. Активность четвертичных аммонийных солей в синтезе 4-[(аллилокси)метил]-2,2-диметил-1,3-диоксолана.

Мольное соотношение 2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолан:хлористый аллил = 1:5, 50%-ный раствор NaOH, 10 мас% катализатора, температура 30°C.
1 — триэтилбензиламмоний бромид; *2* — 4-[(2,2-дихлорциклопропил)метил]-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид; *3* — 4-(1,3-диоксолан-2-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид, 4-(1,3-диоксолан-4-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид; *4* — без катализатора; *5* — 4-бензил-4-(1,3-диоксолан-2-илметил)-морфолиниум-4 бромид; *6* — 1-[(2,2-дихлорциклопропил)метил]-3,5,7-триаза-1-азониатрицикло[3.3.1.1]декан бромид.

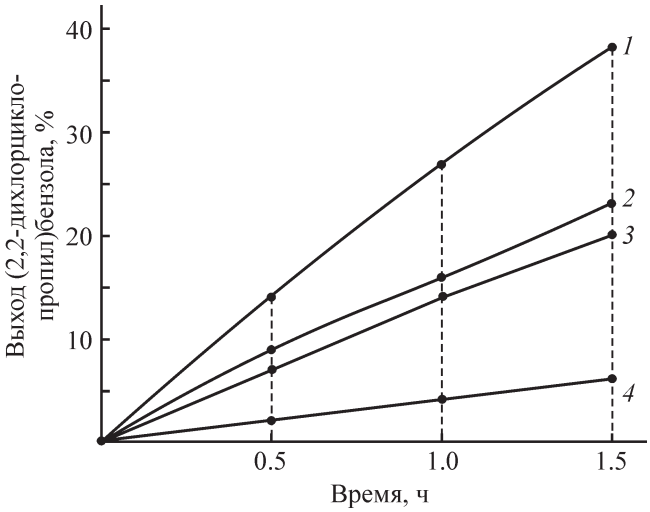


Рис. 2. Активность четвертичных аммонийных солей в синтезе (2,2-дихлорциклопропил)бензола.

Мольное соотношение стирол:$CHCl_3$ = 1:10, 50%-ный раствор NaOH, 10 мас% катализатора, температура 0°C.
1 — 4-бензил-4-(1,3-диоксолан-2-илметил)морфолиниум-4 бромид, *2* — триэтилбензиламмоний бромид, *3* — 1-[(2,2-дихлорциклопропил)метил]-3,5,7-триаза-1-азониатрицикло[3.3.1.1]декан бромид, *4* — без катализатора.

Соль уротропина (3а) по активности близка к известному катализатору триэтилбензиламмоний бромиду (рис. 2).

Полученные данные показывают, что присутствие в молекулах четвертичных солей заместителей, строение которых совпадает со структурой реагентов, увеличивает их каталитическую активность.

Выводы

На основе третичных аминов, содержащих *гем*-дихлорциклопропановый и циклоацетальный фрагменты, синтезированы новые четвертичные аммонийные соли с выходом 40–87%. Установлено, что в реакции О-алкилирования 2,2-диметил-4-оксиметил-1,3-диоксолана хлористым аллилом соли — 4-(1,3-диоксолан-2-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид и 4-(1,3-диоксолан-4-илметил)-4-пропен-2-илморфолиниум-4 бромид, в которых присутствуют циклоацетальная и аллильная группы, обладают максимальной эффективностью в ряду изученных катализаторов. Введение в реакцию дихлоркарбенирования стирола в условиях межфазного катализа 4-бензил-4-(1,3-диоксолан-2-илметил)-морфолиниум-4 бромида, содержащего *гем*-дихлорциклопропановый фрагмент, повысило активность до 35%.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Л. В. Спирихину, заведующему лабораторией ФХМА УФИЦ РАН, за оказанное содействие в идентификации структуры соединений.

Финансирование работы

Исследования выполнены при поддержке РФФИ конкурса мол_эв_а (Эврика! Идея) по договору № 19-33-80002\19 от 07.12.2018.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Информация о вкладе авторов

Все авторы участвовали во всех стадиях исследования, подготовки и в обсуждении результатов статьи.

Информация об авторах

Сахабутдинова Гульнур Назифулловна, преподаватель кафедры «Общая, аналитическая и прикладная химия» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5655-1915

Яковенко Евгения Андреевна, инженер-лаборант кафедры «Общая, аналитическая и прикладная химия» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0559-391X

Раскильдина Гульнара Зинуровна, к.х.н., доцент кафедры «Общая, аналитическая и прикладная химия» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9770-5434

Злотский Семен Соломонович, д.х.н., заведующий кафедрой «Общая, аналитическая и прикладная химия» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6365-5010

Список литературы

[1] *Block S. S.* Disinfection, Sterilization and Preservation. Lippincott, Williams & Wilkins, Philadelphia, U.S.A., 2001. P. 283–319.
https://doi.org/10.1017/S0195941700084289

[2] *Chanawanno K., Chantrapromma S., Anantapong T., Kanjana-Opas A., Fun H.-K.* Synthesis, structure and in vitro antibacterial activities of new hybrid disinfectants quaternary ammonium compounds: Pyridinium and quinolinium stilbene benzenesulfonates // Eur. J. Med. Chem. 2010. V. 45. P. 4199–4208.
https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2010.06.014

[3] *Dopierala K., Prochaska K.* The effect of molecular structure on the surface properties of selected quaternary ammonium salts // J. Colloid Interface Sci. 2008. V. 479. N 1. P. 28–31.
https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2010.06.014

[4] *Ng C. L. L., Singhal V., Widmer F., Wright L. C., Sorell T. C., Jolliffe K. A.* Synthesis, antifungal and hemolytic activity of a series of bis(pyridinium) alkanes // Bioorg. Med. Chem. 2007. V. 15. N 10. P. 3422–3429.
https://doi.org/10.1016/j.bmc.2007.03.018

[5] *Валиев В. Ф., Яковенко Е. А., Булатова Ю. И., Миракян М. С., Борисова Ю. Г., Михайлова Н. Н., Раскильдина Г. З.* Производные спиртов и аминов, содержащих циклопропановый и циклоацетальный фрагменты // Баш. хим. журн. 2016. Т. 23. № 4. С. 94–98.

[6] *Казакова А. Н., Тимофеева С. А., Юмакаева Ю. М., Хайруллина А. Ф., Злотский С. С.* Синтез аминов, содержащих циклопропановый и 1,3-диоксолановый фрагменты // Баш. хим. журн. 2010. Т. 17. № 4. С. 19–23.

[7] *Валиев В. Ф., Раскильдина Г. З., Мудрик Т. П., Богомазова А. А., Злотский С. С.* Синтез полифункциональных вицинальных гликолей // Баш. хим. журн. 2014. Т. 21. № 3. С. 25–27.

[8] *Раскильдина Г. З., Борисова Ю. Г., Валиев В. Ф., Михайлова Н. Н., Злотский С. С., Заиков Г. Е., Емелина О. Ю.* Замещенные простые эфиры и ацетали, обладающие биологической активностью // Вест. Казан. техн. ун-та. 2014. Т. 17. № 15. С. 166–169.

[9] *Gage J. L., Branchaud B. P.* Exploratory studies on reactions of cobaloxime π-cations with C-nucleophiles: Irreversible alkene decomplexation versus nucleophilic capture // J. Org. Chem. 1996. V. 61. P. 831–837.
https://doi.org/10.1021/jo951319i

[10] *Валиев В. Ф., Раскильдина Г. З., Злотский С. С.* Синтез третичных аминов, содержащих *гем*-дихлорциклопропановый и циклоацетальный фрагменты // ЖПХ. 2016. Т. 89. № 5. С. 619–623 [*Valiev V. F., Raskil'dina G. Z., Zlotskii S. S.* Synthesis of tertiary amines containing gem-dichlorocyclopropane and cycloacetal fragments // Russ. J. Appl. Chem. 2016. V. 89. N 5. P. 753–757.
https://doi.org/10.1134/S1070427216050116].