

## ПРИМЕНЕНИЕ ХЛОРИДА МЕДИ (I) В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

© Г. Э. Гаджиева

*Институт нефтехимических процессов им. акад. Ю. Г. Мамедалиева  
Министерства науки и образования Азербайджана  
Азербайджан, AZ 1025 г. Баку, пр. Ходжалы, 30.*

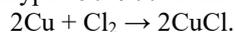
*Email: gulsum.mete@mail.ru*

*В представленной работе показаны результаты научных исследований в области применения хлорида одновалентной меди в качестве катализаторов в различных химических процессах. Отмечается, что это соединение способно каталитически ускорять различные химические превращения, в частности, его используют в качестве катализатора в реакции диенового синтеза, реакции гидрохлорирования ацетиленов, присоединения различных полигалогеналканов к октену-1, в процессе синтеза триэтоксисилана, в реакции полимеризации бензола, в реакции протоборирования терминальных 1,3-диенов, алкоголизе алкилизотиоцианидов, а также в реакции Манниха. Кроме того, показаны результаты собственных исследований автора, в частности, в области применения хлорида одновалентной меди в качестве катализатора реакции аминометилирования норборнилметанола в присутствии формальдегида и вторичных алифатических аминов.*

**Ключевые слова:** хлорид меди, катализатор, химические реакции, реакция аминометилирования, норборнилметанол, вторичные амины.

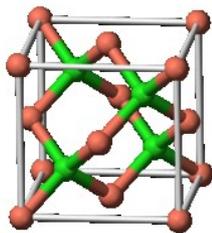
### Введение

Хлорид меди (I)  $\text{CuCl}$  представляет собой белое твердое вещество, мало растворимое в воде, но хорошо растворимое в концентрированной соляной кислоте. Иногда из-за наличия в его составе примесей хлорида меди (II) имеет зеленоватый оттенок. Он производится в промышленных масштабах путем прямого соединения металлической меди и хлора при температуре 450–900 °С по схеме:



Кроме того, природной формой хлорида меди (I) является редкий минерал нантокит.

Это соединение при обычных условиях имеет кубическую кристаллическую структуру. Однако при более высоких температурах (выше 400 °С) его структура меняется на гексагональную.



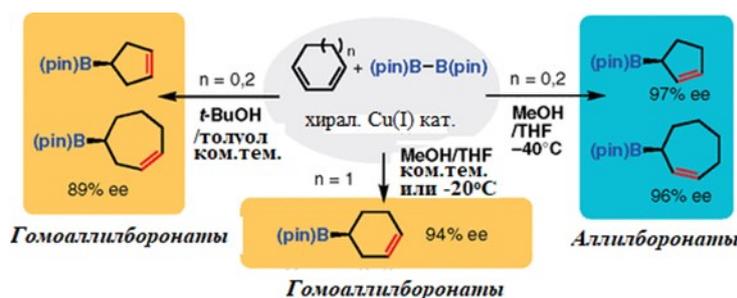
Кубическая структура хлорида меди (I)

Хлорид меди (I) представляет собой кислоту Льюиса, вследствие чего легко образует комплексы с соответствующими основаниями. Это соединение применяется при производстве фунгицидов, в пиротехнике в качестве красителя, но основное его применение обусловлено его высокой каталитической активностью для различных химических процессов. Так, в работе [1] предложен катализатор на основе меди ( $\text{CuCl}$ ) для синтеза винилхлорида путем гидрохлорирования ацетиленов, а также способ его получения и применения, включающий следующие стадии: 1) растворение соли меди и исходного соединения в

воде для получения смешанного раствора; 2) добавление активированного угля в смешанный раствор, полученный на первом этапе для пропитки; 3) фильтрование, слив и последующее нагревание и сушка активированного угля, полученного на второй стадии, для получения катализатора на основе меди. Катализатор используется для синтеза винилхлорида гидрохлорированием ацетиленов, работает по текущей промышленной мощности, имеет конверсию ацетиленов за проход более 98%.

Еще в одном патенте [2] описан катализатор на основе меди ( $\text{CuCl}$ ) для получения винилхлорида посредством реакции гидрохлорирования ацетиленов. Носителем катализатора является активированный уголь, модифицированный гетероатомами бора и азота, а основным активным компонентом катализатора является комплекс, образованный хлоридом меди (I) и азотсодержащим или карбонилсодержащим лигандом. Модифицированный носитель не только может усиливать взаимодействие с комплексом меди и предотвращать потерю комплекса меди, но также может регулировать и контролировать эффективность адсорбции ацетиленов и хлористого водорода, а активность и стабильность катализатора улучшаются при синергическом воздействии носителя и основного активного компонента. Показано, что катализатор обладает хорошей каталитической активностью.

В работе [3] использована редокс-система на основе комплекса  $\text{CuCl}$ -этаноламин для инициирования реакции присоединения различных полигалогеналканов к 1-октену в соотношении 1:1 с хорошим выходом целевых продуктов. Предложенная авторами каталитическая система имеет ряд преимуществ по сравнению с другими инициирующими системами. Показан синтез целого ряда продуктов присоединения на основе этой реакции.



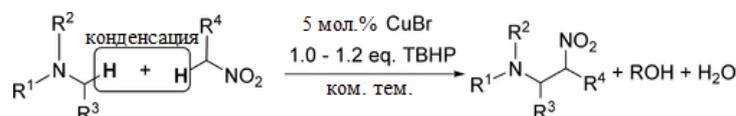
Разработан метод получения наноструктурированного хлорида меди восстановительным термолизом смеси  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  в глицерине. Полученный  $\text{CuCl}$  был охарактеризован с помощью инфракрасной спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, EXAFS-спектроскопии, рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии и просвечивающей электронной микроскопии [4]. Приготовленные образцы  $\text{CuCl}$  продемонстрировали высокую каталитическую активность в прямом синтезе триэтоксисилана.

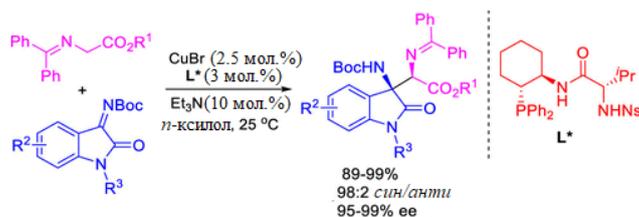
Сообщается [5], что полимеризация бензола в поли(1,4-фенилен) была успешно осуществлена с использованием хлорида меди (I) и хлорида алюминия в качестве катализаторов в атмосфере кислорода. Поскольку хлорид меди (I) и хлорид алюминия образуют двойную соль (хлорид алюминия-меди (I),  $\text{AlCuCl}_4$ ) и растворимы в бензоле, достигается высокая гомогенность реакционной системы, и реакция полимеризации протекает без выделения хлористого водорода. Продукты полимеризации содержали нерастворимое твердое вещество темно-коричневого цвета и растворимую в бензоле смолистую массу. Было определено, что твердый продукт представляет собой полимер по сравнению с аутентичным образцом. Целевой продукт был получен с выходом более 100% в расчете на молярное количество хлорида меди (I) при контроле количества хлорида алюминия. Например, обработка бензола хлоридом алюминия и хлоридом меди (I) (в мольном соотношении 20:3:1) под давлением 1 атм. кислорода при 70 °C в течение 24 ч дала полимер с выходом 87% в пересчете на хлорид меди.

Катализируемое  $\text{CuCl}$  высокостереоселективное 1,4-протоборирование терминальных 1,3-диенов протонным комплексом  $\text{B}_2\text{Pin}_2$  было разработано в работе [6]. Хиральные аллильные боронатные реагенты, которые являются важными прекурсорами для многих химических процессов, были подготовлены этим новым методом с хорошей функциональной групповой толерантностью и энантиоселективностью. Дальнейшие исследования показали, что продукты можно использовать как универсальные прекурсоры для асимметричных преобразований и синтеза натуральных продуктов.

Разработано катализируемое медью (I) асимметричное моноборилирование 1,3-диенов [7]. Авторы описывают получение оптически активных гомоаллил- или аллилборонатов с высокой регио- и энантиоселективностью (88–97% е.е.) путем моноборилирования 1,3-диенов. Реакция с производными 1,3-циклогексадиена дает соответствующие энантиобогащенные гомоаллилборонаты. При простом изменении условий реакции в реакции 1,3-циклопентадиена и 1,3-циклогептадиена было обнаружено резкое изменение предпочтения продуктов между гомоаллил- и аллилборонатами. Реакция алкилизонида со спиртом с образованием алкилформимидата требует катализа соединениями металлов [8]. Показано, что используемые в этой реакции катализаторы делятся на две группы. К первой группе относятся металлическая медь, а также оксиды меди ( $\text{Cu(I)}$  и  $\text{Cu(II)}$ ), серебра и ртути, которые индуцируют изоцианидные реакции различных спиртов, в том числе насыщенных и ненасыщенных спиртов и аминспиртов. Катализаторами второй группы являются хлориды меди ( $\text{Cu(I)}$ ), серебра, цинка и кадмия, которые вызывают реакции изоцианидов только со специальными спиртами, обладающими сильными координационными наклонностями к катализатору, примером чего являются аллиловый спирт и  $\beta$ -*N,N*-диметиламиноэтанол. Среди этих катализаторов металлическая медь и оксиды меди являются наиболее эффективными и дают продукты почти количественно. Различие в каталитической активности между двумя группами катализаторов было объяснено предположением о тройном комплексе, состоящем из катализатора, изоцианида и спирта в качестве координационного центра реакции.

Следует отметить, что другие галогениды меди (I) также находят применение в качестве катализаторов химических процессов. Так, в работе [9] предложен новый метод образования связи C-C на основе реакции кросс-дегидрогенизирующего связывания (CDC), катализируемой с использованием бромиды меди (I) в присутствии окисляющего реагента *трет*- $\text{BuOOH}$ . Реакция CDC обеспечивает простой и эффективный каталитический метод конструирования  $\beta$ -нитроamina посредством реакции между связями  $\text{sp}^3$  C-H.





В работе [10] разработана катализируемая CuBr асимметричная реакция Манниха между глициновыми основаниями Шиффа и кетимидами. Этот метод дает хиральные производные *син*- $\alpha,\beta$ -диаминокислот на основе 2-оксидола с высокими выходами (89–99%) с диастереоселективностью от хорошей до превосходной ( $\leq 98:2$  d.r.) и превосходной энантиоселективностью (95–99% e.e.). Показано [11], что нанокатализаторы намного эффективнее традиционных катализаторов из-за их большого отношения поверхности к массе, высокой поглощающей способности, простоты и возможности повторного использования. Наночастицы меди были исследованы как новый класс гетерогенных нанокатализаторов для широкого круга химических реакций. В этой категории наночастицы йодида меди (CuI НЧ) вызвали большой интерес среди химиков-синтетиков из-за их ценных преимуществ, таких как высокая атомная экономия, недорогое, простое приготовление, легкость доступность и возможность повторного использования катализатора.

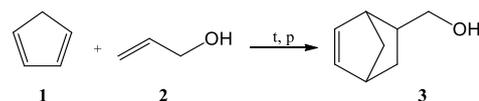
Таким образом, из приведенного обзора результатов исследований можно заключить, что галогениды меди, в частности использованный нами хлорид меди (I), находят широкое применение в качестве катализаторов различных химических превращений. В связи с этим хлорид CuCl был использован нами в трехкомпонентной реакции аминотилирования с участием норборненилметанола, формальдегида и вторичных аминов.

### Материалы и методы

Для синтеза исходного 5-норборн-2-енилметанола был использован дидцклопентадиен (ДЦПД), взятый из побочной фракции C<sub>5</sub> жидких продуктов пиролиза, которые получают на установке ЭП-300 в городе Сумгайыт. Фракция C<sub>5</sub> жидких продуктов пиролиза, состоящая главным образом из пентанамиленов, изопрена, пипериленов, ЦПД, метилциклопентадиенов, а также в некотором количестве сопутствующих бензола и толуола, представляет собой жидкость желтоватого оттенка с неприятным запахом, выкипающая в пределах 32–72 °С. Вначале пирококденсат с пиролизной установки перегоняли простой перегонкой, отделив C<sub>5</sub> фракцию с температурой кипения 32–72 °С, которую затем в течение 2 ч нагревали в автоклаве. Далее атмосферной перегонкой содержимого автоклава отделялась фракция пентадиенов (смесь изопрена и пиперилена). Остаток перегоняли в вакууме для отделения фракции ДЦПД.

Исходный аллиловый спирт использовали реактивный. Перед использованием сушили над MgSO<sub>4</sub> и перегнали.

Реакция получения норборненилметанола протекает по нижеприведенной схеме:



Вторичные амины использовали коммерческие. Перед использованием все реагенты перегнали и определили их физико-химические константы, которые совпадают с литературными данными. В качестве растворителя был использован бензол, который был очищен и высушен известным методом.

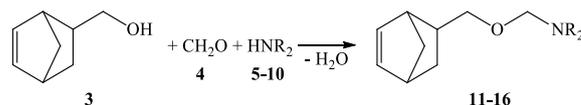
Параформальдегид – продукт полимеризации формальдегида, состоящий из 8–100 мономеров. При нагревании деполимеризуется до формальдегида. Использовался в виде реактивного порошка.

Физико-химические показатели исходных соединений представлены в табл.

### Результаты и их обсуждение

Методика получения норборненсодержащих оснований Манниха в присутствии катализатора хлорида меди (I) заключалась в следующем. В круглодонной колбе, снабженной магнитной мешалкой, термометром, ловушкой Дина-Старка и обратным холодильником, к 0.2 молям параформа, разбавленного в 20 мл бензола, при перемешивании по каплям добавили 0.1 моля норборненилметанола (3), разбавленного в 20 мл бензола. Затем, продолжая перемешивание, по каплям добавили раствор 0.1 моля вторичного амина (5–10) в 20 мл бензола. Перемешивание продолжали при температуре 78–80 °С в течение 4–5 ч. После охлаждения смесь обработали аммиачным раствором (10%). Промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и сушили над MgSO<sub>4</sub>. Отогнали бензол, остаток перегоняли в вакууме.

Реакция получения целевых продуктов протекает по нижеприведенной схеме:

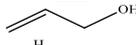
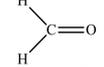
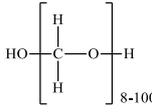


где R = C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> (5, 11); C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> (6, 12); C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> (7, 13); *i*-C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> (8, 14); C<sub>5</sub>H<sub>11</sub> (9, 15); C<sub>6</sub>H<sub>13</sub> (10, 16).

На рис. 1 показан ИК-спектр одного из синтезированных норборненсодержащих оснований Манниха.

Таблица

## Физико-химические показатели исходных соединений

Реагент	Сост. при н.у.	М, г/моль	T <sub>пл.</sub> , °С	T <sub>кип.</sub> , °С	ρ, г/см <sup>3</sup>	n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	Химическая структура
Дициклопентадиен	Жидк.	132	32.5	173	0.975	1.5110	
Циклопентадиен (1)	Жидк.	66	-97	41	0.802	1.445	
Аллиловый спирт (2)	Жидк.	58	-129	97	0.854	1.4135	
Формальдегид (4)	Газ	30	-118	-19	0.8153	-	
Параформальдегид	Тверд.	258-3 018	120	-	1.420	-	
Диэтиламин (5)	Жидк.	73.14	-48	56.3	0.707	1.3864	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -N-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
Дипропиламин (6)	Жидк.	101.2	-39.6	110	0.738	1.4040	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> -N-C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>
Дибутиламин (7)	Жидк.	129.24	-61.9	159.6	0.766	1.4175	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -NH-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>
Диизобутиламин (8)	Жидк.	129.24	-73.5	139.5	0.745	1.4093	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -NH-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>
Дипентиламин (9)	Жидк.	157.3	-90	203	0.7771	1.4272	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> -NH-C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>
Дигексиламин (10)	Жидк.	185.36	-	193	0.795	1.4320	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> -NH-C <sub>6</sub> H <sub>13</sub>
Хлорид меди	Тв.	99	426	1490	4.145	-	CuCl

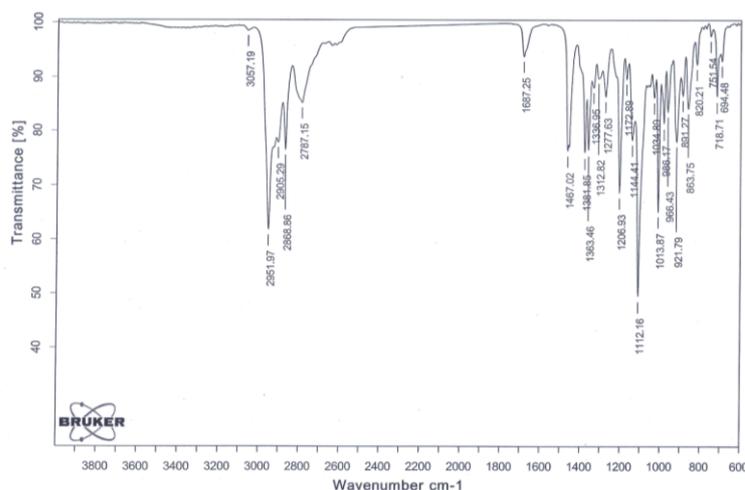


Рис. 1. ИК-спектр

5-(*N,N*-диизобутиламино)метоксиметил)бицикло[2.2.1]-гепт-2-ена (14).

В ИК-спектрах синтезированных соединений (11–16) обнаружены полосы поглощения в областях 2 961–2 803, 1 463–1 343 см<sup>-1</sup>, характерные для связи С–Н ( $\nu_{C-H}$ ) групп CH<sub>3</sub> и CH<sub>2</sub>. Деформационные колебания связей простого эфира С–О–С ( $\nu_{C-O}$ ) проявляются в области 1 172–1 048 см<sup>-1</sup> в виде интенсивной полосы поглощения. В молекулах соединений (11–16) присутствует этиленовый фрагмент, колебания С–Н связей которого наблюдаются в областях 3 059–3 057 см<sup>-1</sup> и 987–816 см<sup>-1</sup>, отвечающих за валентные ( $\nu_{C-H}$ ) и деформационные ( $\delta_{C-H}$ ) колебания связей соответственно. Колебания кратной связи ( $\delta_{C=C}$ ) этиленового фрагмента наблюдаются в виде слабого пика в областях 1 687–1 629 см<sup>-1</sup>.

Данные <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии синтезированных соединений (11–16) показывают, что сигналы от

протонов норборненого фрагмента почти не смещаются, оставаясь в тех же областях (рис. 2). Протоны кратной связи HC=CH норборненого фрагмента дают сигналы в виде мультиплета в области  $\delta = 5.93$ –6.12 м.д., это доказывает, что в реакции не участвуют протоны кратной связи. Сигнал протона гидроксильной группы ОН норборнилметанола (3), проявляющийся в виде уширенного синглета в области  $\delta = 3.915$  м.д., в спектрах соединений (11–16) не обнаружен, зато наблюдается сигнал в виде синглета в области 4.07–4.17 м.д. (см. рис. 2), который относится к протонам ОСН<sub>2</sub>N фрагмента. Этим подтверждается, что в реакции аминотиллирования участвует водород ОН группы.

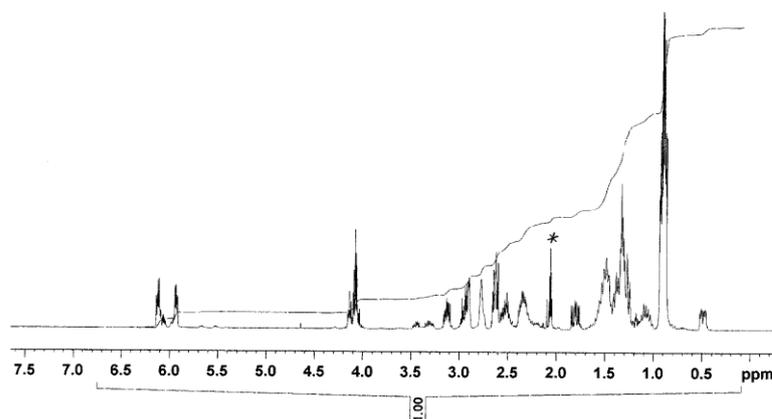


Рис. 2.  $^1\text{H}$  ЯМР-спектр  
5-(*N,N*-дипентиламино)метоксиметилбицикло[2.2.1]-гепт-2-ена (**15**).

Выход синтезированных соединений находился в пределах 42–75%. Наибольший выход наблюдался в присутствии медного катализатора с участием ди-гексиламина в качестве составляющего компонента реакции. Полученные соединения были испытаны в качестве антимикробных препаратов в отношении различных патогенных микроорганизмов, в т.ч. грамположительных (*золотистый стафилококк*), грамотрицательных бактерий (*кишечная палочка*, *синегнойная палочка*), а также дрожжеподобных грибов рода *Кандида*. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о наличии высокой антимикробной активности синтезированных соединений, что позволяет рекомендовать эти соединения в качестве местных антисептических препаратов.

Таким образом, хлорид меди (I) оказался эффективным катализатором для реакции аминотетирования норборнилметанола формальдегидом и вторичными аминами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pat. CN 108993595B. China. 2018. Copper-based catalyst for synthesizing vinyl chloride by hydrochlorinating acetylene and preparation method and application thereof.
2. Pat. CN 111715253. China. 2019. Copper-based catalyst for preparing vinyl chloride through acetylene hydro-chlorination and preparation and use method thereof.
3. Burton D., Kehoe L. Copper chloride-ethanolamine catalyzed addition of polyhaloalkanes to 1-octene // *J. Org. Chem.* 1970. Vol. 35. N 5. Pp. 1339–1342.
4. Adonin N. Yu., Prikhodko S. A., Shabalin A. Yu., Prosvirin I. P. Synthesis and Structural Features of Nanostructured Cuprous Chloride with High Catalytic Activity // *Silicon*. 2015. Vol. 7. Pp. 79–87.
5. Toshima N., Keiichi K., Atsunori K., Hidefumi H. The Polymerization of Benzene Catalyzed by a Copper(I) Chloride-Aluminium Chloride-Oxygen System // *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. 1988. Vol. 61. N 7. Pp. 2551–2557.
6. Guan Q., Yugi L., Zhao Q., Zhang C. Copper-Catalyzed Highly Enantioselective 1,4-Protoboration of Terminal 1,3-Dienes // *CCS Chem.* 2022. Vol. 4. Pp. 1545–1556.
7. Sasaki Y., Zhong C., Sawamura M., Ito H. Copper(I)-Catalyzed Asymmetric Monoborylation of 1,3-Dienes: Synthesis of Enantioenriched Cyclic Homoallyl- and Allylboronates // *J. Amer. Chem. Soc.* 2010. Vol. 132. N 4. Pp. 1226–1227.
8. Saequsa T., Ito Y., Kobayashi S., Hirota K. Synthetic reactions by complex catalysts. XII. Copper-catalyzed reaction of isocyanide with alcohol // *Canadian Journal of Chemistry*. 1969. Vol. 47. N 7. Pp. 1021–1026.
9. Zhiping L., Chao J. L. Highly Efficient Copper-Catalyzed Nitro-Mannich Type Reaction: Cross-Dehydrogenative-Coupling between  $\text{sp}^3$  C–H Bond and  $\text{sp}^3$  C–H Bond // *J. Amer. Chem. Soc.* 2005. Vol. 127. N 11. Pp. 3672–3673.
10. Ying F., Jian L., Feng S., Qiong L. Cu(I)-Catalyzed Asymmetric Mannich Reaction of Glycine Schiff Bases to Ketimines // *J. Org. Chem.* 2019. Vol. 94. N 18. Pp. 11639–11664.
11. Huang J., Duyou L., Mandal T. Catalytic application of copper iodide nanoparticles in organic synthesis // *Synthetic Communications*. 2021. Vol. 61. N 13. Pp. 1923–1946.
12. Гаджиева Г. Э. Аминометоксипроизводные норборнилметанола как ингибиторы биокоррозии // *Журнал практика противокоррозионной защиты*. 2020. Т. 25. №1. С. 31–38.
13. Гаджиева Г. Э. Биологически активные производные норборнена: синтез бицикло(2.2.1)-гепт-5-ен-содержащих оснований Манниха // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2021. №4. С. 201–221.
14. Гаджиева Г. Э. Ионные жидкости в реакциях аминотетирования // *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. 2020. №4. С. 234–241.

Поступила в редакцию 09.01.2023 г.  
После доработки – 20.02.2023 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2023.1.17

**APPLICATION OF COPPER(I) CHLORIDE  
AS A CATALYST OF CHEMICAL PROCESSES**

© G. E. Gadziyeva

*Institute of Petrochemical Processes  
30 Khodjaly Avenue, AZ 1025 Baku, Republic of Azerbaijan.**Email: gulsum.mete@mail.ru*

In the presented work, the results of scientific study in the field of application of cuprous chloride as catalysts in various chemical processes are shown. It is noted that this compound is capable of catalytically accelerating various chemical transformations. In particular, it is used as a catalyst in the reaction of diene synthesis, the reaction of hydrochlorination of acetylene, the addition of various polyhaloalkanes to octene-1, in the synthesis of triethoxysilane, in the polymerization of benzene, in the protoboration reaction terminal 1,3-dienes, alcoholysis of alkyl isocyanides, as well as in the Mannich reaction. In addition, the results of the author's own research are shown, in particular, in the field of application of cuprous chloride as a catalyst for the aminomethylation of norbornenylmethanol in the presence of formaldehyde and secondary amines (aliphatic, alicyclic and heterocyclic). Copper(I) chloride CuCl is a white solid, sparingly soluble in water, but highly soluble in concentrated hydrochloric acid. Sometimes, due to the presence of copper(II) chloride impurities in its composition, it has a greenish tint. It is produced on an industrial scale by direct combination of metallic copper and chlorine at a temperature of 450–900 °C. This compound under normal conditions has a cubic crystal structure. However, at higher temperatures (above 4000 °C) its structure changes to hexagonal. Copper(I) chloride is a Lewis acid and therefore readily forms complexes with the corresponding bases. This compound is used in the production of fungicides, in pyrotechnics as a dye, but its main use is due to its high catalytic activity for various chemical processes.

**Keywords:** copper chloride, catalyst, chemical reactions, aminomethylation reaction, norbornenylmethanol, secondary amines.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at [bulletin\\_bsu@mail.ru](mailto:bulletin_bsu@mail.ru) if you need translation of the article.

1. Pat. CN 108993595B. China. 2018. Copper-based catalyst for synthesizing vinyl chloride by hydrochlorinating acetylene and preparation method and application thereof.
2. Pat. CN 111715253. China. 2019. Copper-based catalyst for preparing vinyl chloride through acetylene hydro-chlorination and preparation and use method thereof.
3. Burton D., Kehoe L. *J. Org. Chem.* 1970. Vol. 35. N 5. Pp. 1339–1342.
4. Adonin N. Yu., Prikhodko S. A., Shabalin A. Yu., Prosvirin I. P. *Silicon.* 2015. Vol. 7. Pp. 79–87.
5. Toshima N., Keiichi K., Atsunori K., Hidefumi H. *Bulletin of the Chemical Society of Japan.* 1988. Vol. 61. N 7. Pp. 2551–2557.
6. Guan Q., Yugi L., Zhao Q., Zhang C. *CCS Chem.* 2022. Vol. 4. Pp. 1545–1556.
7. Sasaki Y., Zhong C., Sawamura M., Ito H. *J. Amer. Chem. Soc.* 2010. Vol. 132. N 4. Pp. 1226–1227.
8. Saequsa T., Ito Y., Kobayashi S., Hirota K. *Canadian Journal of Chemistry.* 1969. Vol. 47. N 7. Pp. 1021–1026.
9. Zhiping L., Chao J. L. *J. Amer. Chem. Soc.* 2005. Vol. 127. N 11. Pp. 3672–3673.
10. Ying F., Jian L., Feng S., Qiong L. *J. Org. Chem.* 2019. Vol. 94. N 18. Pp. 11639–11664.
11. Huang J., Duyou L., Mandal T. *Synthetic Communications.* 2021. Vol. 61. N 13. Pp. 1923–1946.
12. Gadziyeva G. E. *Zhurnal praktika protivokorroziionnoi zashchity.* 2020. Vol. 25. No. 1. Pp. 31–38.
13. Gadziyeva G. E. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya.* 2021. No. 4. Pp. 201–221.
14. Gadziyeva G. E. *Protsessy neftekhimii i neftepererabotki.* 2020. No. 4. Pp. 234–241.

*Received 09.01.2023.*

*Revised 20.02.2023.*