

УДК 542.943.6

ОКИСЛЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТИОФЕНА В ПРИСУТСТВИИ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ С БРЕНСТЕДОВСКОЙ КИСЛОТНОСТЬЮ

А.В. Акоюн*, Е.А. Есева, П.Д. Поликарпова, А.А. Кедало, А.В. Анисимов

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра химии нефти и органического катализа; *e-mail: arvchem@yandex.ru)

Получен катализатор на основе ионной жидкости, состоящей из катиона пиридиния с Бренстедовской кислотностью и аниона с атомом молибдена (молибдата 1-бутил-3-карбоксопиридиния). Исследована его каталитическая активность в окислении серосодержащих соединений. Изучено влияние продолжительности окисления, температуры, количества окислителя и катализатора на конверсию дибензотиофена (ДБТ). Достигнута 100%-я конверсия по ДБТ в присутствии катализатора в следующих условиях: мольное соотношение $H_2O_2:S = 10:1$, масса катализатора 0,02 г, температура реакции 50 °С, время 120 мин.

Ключевые слова: ионная жидкость с бренстедовским кислотным центром, молибденосодержащие катализаторы, пероксид водорода, окислительное обессеривание.

В последнее время все большую актуальность приобретает проблема снижения содержания общей серы в нефтяных фракциях [1].

В переработку все чаще поступает нефтяное сырье с большим содержанием серы. Присутствием этого токсичного компонента обусловлена высокая коррозионная активность нефти. Сера представляет собой яд для процессов переработки, поэтому особое внимание уделяется созданию методов удаления серосодержащих компонентов из нефти. Классической технологией удаления серы считается гидроочистка, основанная на переработке сырья под давлением водорода при высокой температуре в присутствии катализаторов [2]. Введение жестких экологических требований к топливам ставит перед исследователями задачу поиска новых технологических решений по очистке нефтяных фракций от сернистых соединений [3], из которых серьезного внимания заслуживает метод окислительного обессеривания [4]. Суть метода заключается в окислении серосодержащих соединений с последующими удалением окисленных форм (сульфоксидов и сульфонов) из углеводородной среды экстракционными или адсорбционными методами. Преимущество метода окислительного обессеривания заключается в относительно мягких условиях проведения процесса окисления (не выше 80 °С), а также в возможности использования экологичных и безопасных окислителей.

Самым распространенным, коммерчески доступным и экологически безопасным окислите-

лем для обессеривания нефтяных фракций служит пероксид водорода, который используется самостоятельно и в сочетании с гомогенными и гетерогенными катализаторами [5]. При окислении пероксидом водорода в комбинации с гомогенными катализаторами, среди которых часто используются кислоты, образуются надкислоты – очень сильные окислители, способные эффективно окислять сернистые соединения [6]. Однако использование кислот приводит к протеканию побочных реакций окисления углеводородных компонентов топлив и возрастанию коррозионной активности нефтяных фракций. Гомогенные катализаторы на основе солей переходных металлов, способных к образованию активных пероксокомплексов, позволяют проводить окисление в существенно более мягких (по сравнению с кислотами) условиях и с более высокой селективностью [7].

Проблема массопереноса в процессе окислительного обессеривания одна из ключевых, так как окислитель и катализатор находятся в водной фазе, а субстрат – в органической. Решение проблемы массопереноса позволит существенно смягчить условия проведения процесса окисления, что в свою очередь повысит селективность окисления сероорганических субстратов. Из литературы известны примеры использования широкого спектра межфазных переносчиков на основе солей аммония, пиридиния, а также имидазолия. В качестве межфазных переносчиков в двухфазной системе углеводород/вода применяются четвертичные аммониевые соли типа $[Bu_4N]R_4COO$, состоящие из

аниона окислителя [RCOOO^-] и катиона аммониевой соли [Bu_4N^+]. Эта пара участвует в реакции окисления серосодержащих соединений за счет перехода из полярной фазы в неполярную [8]. В работах [9, 10] окислительное обессеривание проводили в присутствии пероксида водорода, фосфоровольфрамовой кислоты и бромида тетраоктиламмония в качестве межфазного переносчика. Четвертичная соль аммония, выполняющая функцию межфазного переносчика, применяется совместно с амфифильной фосфоровольфрамовой кислотой, позволяющей стабилизировать эмульсию и снизить содержание серы при использовании в дизельном топливе до 98% пероксида водорода в качестве окислителя. Применение ионных жидкостей в качестве катализаторов межфазного переноса рассмотрено в работе [11]. Для модельной смеси дибензотиофена (ДБТ) в *n*-октане степень сероочистки достигает 94%, причем ионная жидкость без регенерации и потери активности может использоваться повторно.

В настоящей работе при окислительном обессеривании модельной смеси, содержащей дибензотиофен, исследованы каталитические свойства ионной жидкости, выполняющей роль межфазного переносчика, обладающей брэнстедовским кислотным центром и имеющей в анионе атом молибдена, способный образовывать пероксокомплексы в присутствии пероксида водорода. Такой способ позволит сочетать в ходе окислительного процесса каталитические свойства как органических кислот, так и соединений переходных металлов, минимизируя фазовые ограничения.

Экспериментальная часть

Для синтеза ионной жидкости в работе использованы следующие реактивы: никотиновая кислота (99%, «Chemical Line»), бромбутан (99%, «Sigma Aldrich»), этиловый спирт (96%), диметилсульфоксид (ДМСО, «х.ч.», «Химмед»), молибдат натрия ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 99%, «Sigma Aldrich»), бутилметилимидазолий хлорид (BMIMCl , 99%, «Sigma Aldrich»). Для приготовления модельной смеси использовали бензотиофен (БТ, 98%, «Sigma Aldrich»), дибензотиофен (ДБТ, 98%, «Sigma Aldrich»), 4-метилдибензотиофен (MeДБТ, 96%, «Sigma Aldrich») и додекан в качестве растворителя (99%, «Sigma Aldrich»). Для каталитических реакций в качестве окислителя брали пероксид водорода (H_2O_2 , 37%, «Prime Chemicals Group»).

Строение полученных соединений подтверждено методами спектроскопии ^1H и ^{13}C ЯМР, масс-спектрометрии ESI-MS, а также методом элементного анализа. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C регистрировали на спектрометре «Varian-XR-400» с рабочей частотой 400 МГц. Использовали 2%-е растворы образцов в дейтерированном диметилсульфоксиде и воде. Химические сдвиги приведены в миллионных долях (м.д.) по шкале относительно гексаметилдисилоксана (внутреннего стандарта).

Спектры ESI-MS были зарегистрированы на приборе «Dionex Ultimate 3000» с тандемным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором «AB Sciex 3200 Qtrap» при ионизации пробы электрораспылением (ESI) в режиме регистрации положительных ионов. В качестве подвижной фазы при хроматографировании использовали 0,1%-й водный раствор муравьиной кислоты и ацетонитрил. Пробы готовили в деионизированной воде, массовая доля вещества составила 2%. Образец вводили с помощью автосемплера через соединитель нулевого объема напрямую в масс-спектрометр. Скорость потока подвижной фазы составляла 0,3 мл/мин. Масс-спектрометрическое детектирование проводили в режиме сканирования в диапазоне значений m/z от 80 до 500 Да. Масс-спектры ионов-продуктов получали в диапазоне от 50 до 143 Да.

Элементный анализ ионной жидкости на содержание металла проводили на рентгенофлуоресцентном волновом спектрометре «ARL Perform'X» («Thermo Fisher Scientific», «New Wave»). Пробоподготовку осуществляли по следующей методике: порошкообразные пробы прессовали в таблетки на подложке из борной кислоты и накрывали лавсановой пленкой, которую прижимали к кювете оправой в виде кольца. Жидкие пробы помещали в кювету, накрывали лавсановой пленкой и прижимали ее оправой.

Состав продуктов реакции и контроль чистоты исходных веществ осуществляли методом газовой хроматографии на хроматографе «Кристалл-2000 М» с пламенно-ионизационным детектором. Колонка «Zebtron» ($l = 30$ м, $d = 0,32$ мм, жидкая фаза – ZB-1); программирование температуры от 100 до 250 °С. Хроматограммы записывали и анализировали на компьютере с помощью программы Хроматэк Аналитик 1.5.

Условия проведения анализа реакционной смеси до и после окисления были следующими: газ-носитель – азот ($p = 200$ кПа), объемная скорость потока 30 мл/мин; начальная температура колонки 100 °С, температура инжектора 150 °С,

температура детектора 250 °С, скорость нагрева колонки 20 °С/мин.

Синтез ионной жидкости осуществляли следующим образом. Никотиновую кислоту (1,23 г) растворяли в ДМСО и добавляли стехиометрически рассчитанное количество 1-бромбутана (0,01 моль). Смесь нагревали с обратным холодильником в течение 24 ч, реакционную смесь охлаждали, декантировали жидкую часть и отгоняли растворитель в вакууме. Полученную ионную жидкость N-1 анализировали методами ЯМР ¹H, ¹³C, ESI-MS: N-1:1-бутил-3-карбоксопиридиний бромид. ¹H ЯМР спектр (DMSO, 400 МГц); d = 0.86–0.9 (с, 3H), 1.26–1.32 (с, 2H), 1.85–1.91 (с, 2H), 4.7–4.74 (с, 2H), 8.25–8.29 (т, 1H), 8.93–8.95 (д, 1H), 9.33–9.35 (д, 1H), 9.59 (с, 1H). ¹³C ЯМР d = 165.1, 149.3, 148.4, 146.7, 128.2, 126.7, 63.6, 30.3, 19.5, 12.9 ppm. ESI-MS: m/z [M⁺] = 180.

Для получения молибдата соответствующей ионной жидкости (N-1) проводили реакцию ионного обмена. Готовили насыщенные водные растворы молибдата натрия и ионной жидкости в мольном соотношении ионной жидкости и молибдата, равном 2:1. Раствор ионной жидкости приливали по каплям к раствору молибдата и перемешивали в течение 1 ч. Образовавшийся осадок центрифугировали, промывали водой (210 мл), этиловым спиртом (210 мл) и сушили при комнатной температуре в течение суток. Продукт анализировали на содержание молибдена методом РСФА. Содержание молибдена в синтезированной ионной жидкости составляет 19,31 мас. %.

Для приготовления модельной смеси с общим содержанием серы 500 ppm растворяли сероорганическое соединение (БТ, ДБТ или МеДБТ) в 5 мл додекана. К полученной модельной смеси добавляли сначала 1,5 мл ацетонитрила, а затем окислительно-каталитическую смесь, состоящую из пероксида водорода и ионной жидкости. Данную смесь готовили добавлением ионной жидкости N-2

(соотношении молибдена и серы составляет от 1,0:2,5 до 1:50) к 37%-му раствору пероксида водорода (количество пероксида водорода рассчитывают исходя из мольного соотношения пероксида водорода и серы от 2:1 до 10:1). При соотношении молибдена и серы, равном 1:50, ионная жидкость полностью растворяется в перексиде водорода, при соотношении 1,0:2,5 образуется суспензия, которая потом полностью растворяется в нижней фазе, состоящей из ацетонитрила. Реакции окисления модельных смесей проводили при температуре 20–70 °С в течение 0,5–2 ч. По окончании реакции смесь охлаждали до комнатной температуры и анализировали методом газовой хроматографии.

Результаты и обсуждение

Для получения ионной жидкости, состоящей из катиона пиридиния с бренстедовской кислотностью и атомом молибдена в анионе, был выполнен синтез по схеме реакции алкилирования пиридинов действием алкилгалогенидов в присутствии биполярного апротонного растворителя (ДМСО) и с последующей реакцией ионного обмена. Схема синтеза представлена на рис. 1.

Для оценки каталитической активности ионной жидкости N-2, обладающей Бренстедовской кислотностью в катионе, исследовали модельную смесь, представляющую собой раствор ДБТ в додекане с содержанием общей серы 500 ppm. Введение в анион ионной жидкости атома молибдена дает возможность в присутствии пероксида водорода формировать в молекуле одновременно с кислым центром пероксокомплекс, способствующий усилению каталитической активности такой системы. Сравнительную оценку активности окислительных систем проводили простым добавлением молибдата натрия в реакционную смесь в присутствии ионной жидкости с анионом хлора и синтезированной ионной жидкости N-2 (рис. 2). В качестве экстрагента

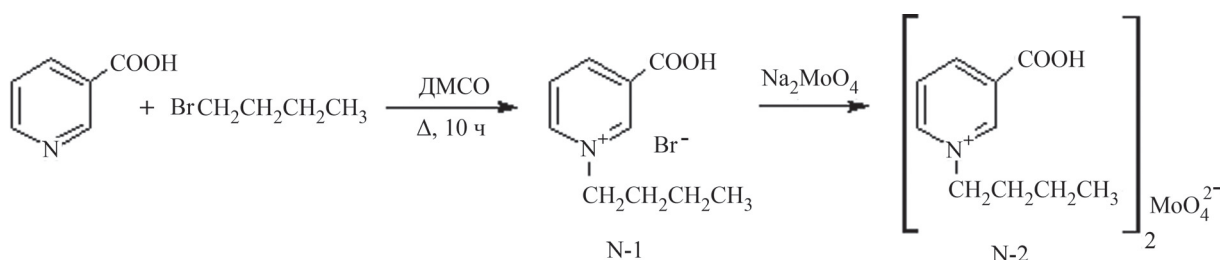


Рис. 1. Синтез ионной жидкости N-2

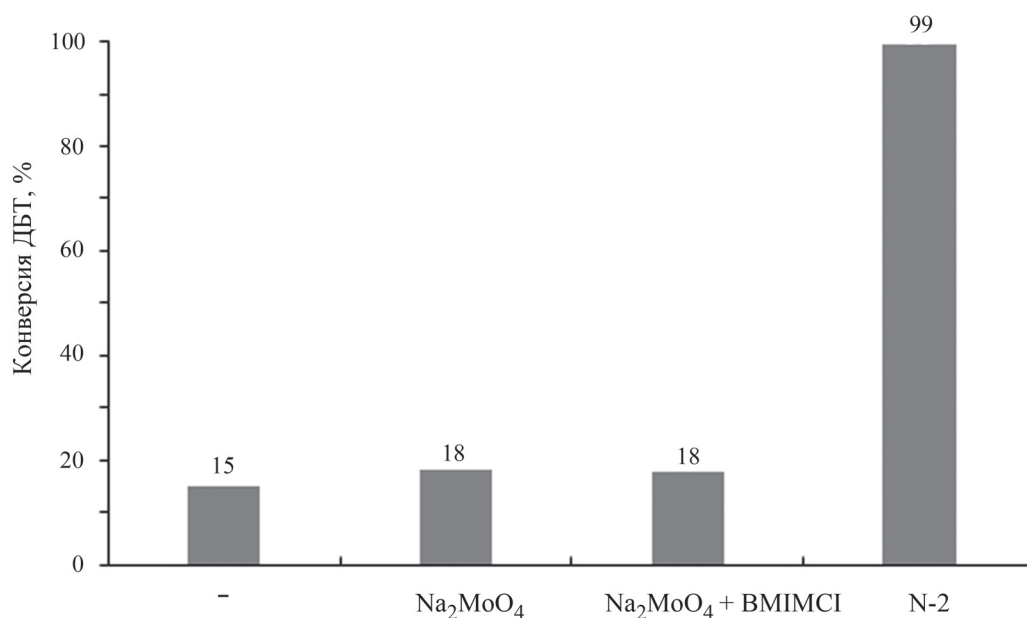


Рис. 2. Сравнение активности разных каталитических систем на конверсию ДБТ ($H_2O_2:S = 10:1$, $Mo:S = 1:2,5$; $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $t = 30$ мин; 1,5 мл CH_3CN)

продуктов окисления сернистых соединений в данной работе использовали ацетонитрил (CH_3CN) [12]. Холостые эксперименты по экстракции неокисленного ДБТ с использованием ацетонитрила позволили снизить содержание ДБТ в модельной смеси на 10%.

Важно отметить, что в приведенной методике ацетонитрил играет также роль растворителя для пероксокомплексов. Поскольку синтезированная ионная жидкость практически нерастворима в воде и плохо растворима в растворе пероксида водорода, добавление ацетонитрила позволяет проводить окисление в двухфазной системе, при этом пероксид водорода и катализатор растворяются в ацетонитриле, а субстрат находится в углеводородной среде. При отсутствии ацетонитрила образуются три фазы: углеводородная, водная фаза раствора пероксида водорода и твердый осадок катализатора. Такая постановка эксперимента приводит к значительному увеличению фазовых ограничений, что не позволяет оценить эффективность катализатора по сравнению с системами на основе водорастворимых молибдатов. Схема окисления серосодержащих соединений представлена на рис. 3.

Результаты эксперимента показывают, что синтезированная ионная жидкость N-2, обладающая брэнстедовской кислотностью и содержащая атом молибдена в анионе, обладает большей каталитической активностью в реакциях окисления гетероциклических сернистых соединений, чем окислительная система, получаемая простым добавлением в реакционную среду молибдата натрия

и 1-бутил-3-метилимидазолий хлорида (BMIMCl), применяемого в качестве межфазного переносчика (рис. 2). Конверсия ДБТ в таких системах низкая (18%), что обусловлено нестабильностью образованного пероксокомплекса [13]. Высокая каталитическая активность синтезированного катализатора N-2 свидетельствует о том, что образование пероксокомплекса молибдена стабилизируется карбоксильной группой, входящей в состав полученной ионной жидкости, кроме того, за счет гидрофобности катиона катализатор концентрируется на границе раздела фаз, что должно вносить значительный вклад в процесс окисления сернистых соединений.

Важно отметить, что в предыдущих работах [3], где применяли молибдат натрия при мольных соотношениях молибдена и серы, равных 1:100, также использовали добавки в виде кислот в эквимольных соотношениях органической кислоты и серы, равных 1:1. Использование молибдата натрия без кислотной добавки нецелесообразно и не приводит к окислению сернистых соединений при соблюдении описанных условий даже при мольном соотношении молибдена и серы, равном 1:1 (в данном случае удастся достичь высокой конверсии ДБТ только в присутствии синтезированной ионной жидкости без добавок).

Зависимость окисления ДБТ от времени изучали при действии пероксида водорода и температуре $50\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4).

Сравнение каталитической активности синтезированной ионной жидкости N-2 и системы, по-

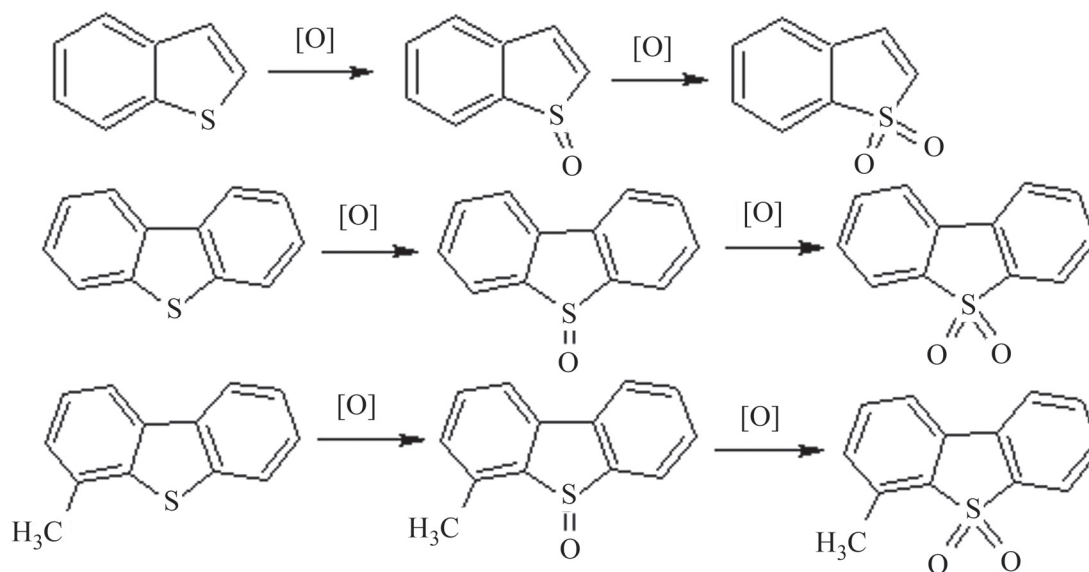


Рис. 3. Реакции окисления серосодержащих соединений

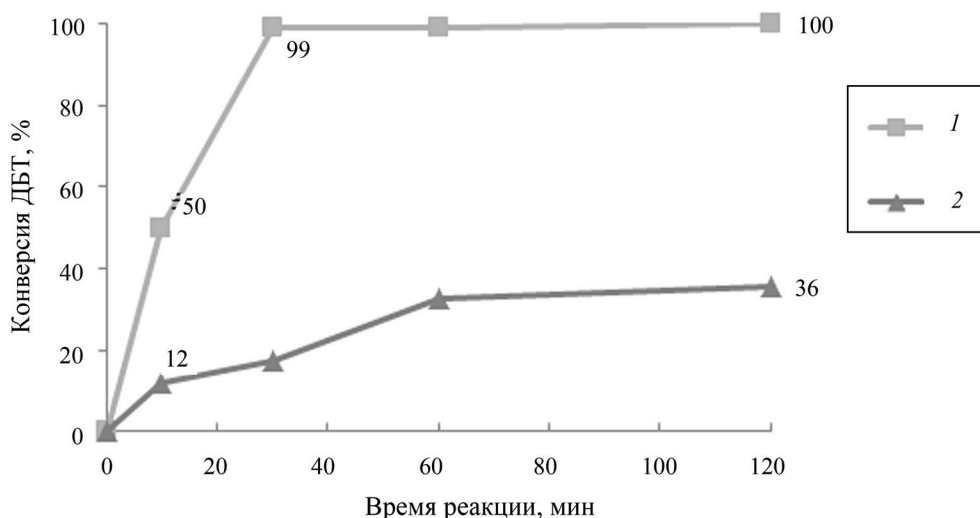


Рис. 4. Влияние продолжительности окисления на конверсию ДБТ в присутствии N-2 (1) и $\text{Na}_2\text{MoO}_4 + \text{BMIMCl}$ (2) ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{S} = 10:1$, $\text{Mo}:\text{S} = 1:2,5$; $T = 50^\circ\text{C}$; 1,5 мл CH_3CN)

лученной простым смешением молибдата натрия и 1-бутил-3-метилимидазолий хлорида (BMIMCl) проводили в течение длительного времени. Как видно из графика, представленного на рис. 4, конверсия ДБТ в присутствии простой смеси молибдата натрия и BMIMCl низкая и по истечении 2 ч не превышает 36%. Конверсия ДБТ в присутствии синтезированного катализатора N-2, обладающего бренstedовской кислотностью, повышается с увеличением продолжительности реакции окисления, достигая 50% через 10 мин и 100% через 2 ч.

Для изучения влияния температуры реакции окисления на конверсию ДБТ процесс проводили при разной температуре и фиксированном времени реакции. Результаты эксперимента представлены на рис. 5.

Рост температуры процесса, с одной стороны, приводит к увеличению активности катализатора, что напрямую отражается на конверсии ДБТ, а с другой, ускоряет разложение пероксида водорода, поэтому повышать температуру более 50°C нецелесообразно (рис. 5). Наибольшая конверсия по ДБТ наблюдается при 50°C , достигая 99%.

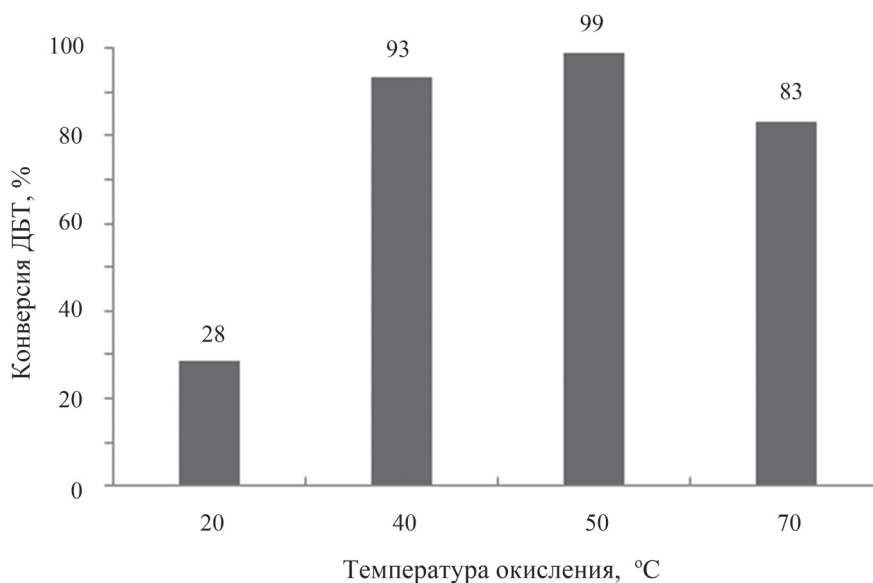


Рис. 5. Температурная зависимость окисления ДБТ в присутствии N-2 ($H_2O_2:S = 10:1$, $Mo:S = 1:2,5$; $t = 30$ мин; 1,5 мл CH_3CN)

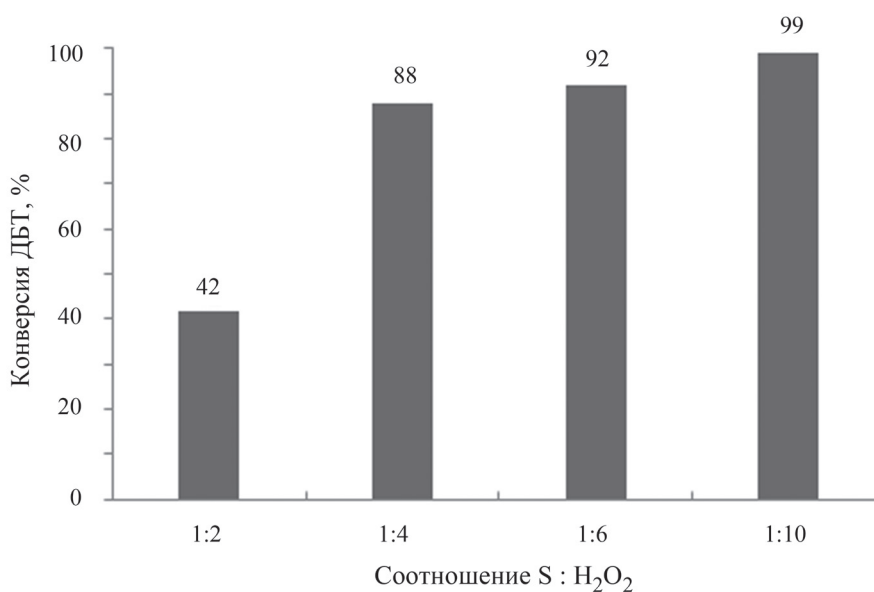


Рис. 6. Влияние количества окислителя на конверсию ДБТ в присутствии N-2 ($Mo:S = 1:2,5$; $T = 50$ °C; $t = 30$ мин; 1,5 мл CH_3CN)

Влияние мольного соотношения пероксида водорода и серы при фиксированном количестве катализатора изучали при 50 °C в присутствии N-2 (рис. 6). Исследование показало, что увеличение количества окислителя приводит к повышению конверсии ДБТ. Однако, как видно из рис. 6, существует пороговое значение по количеству окислителя, после которого влияние пероксида водорода ослабевает. Соотношение пероксида водорода и серы, равное 4:1, оптимально с точки зрения расхода окислителя, при этом конверсия по ДБТ составляет 88%.

Результаты исследований по влиянию количества катализатора N-2 на процесс окисления ДБТ (рис. 7) показывают, что увеличение массы катализатора способствует росту конверсии ДБТ. Введение в каталитическую систему катализатора в мольном соотношении молибдена и серы, равном 1:50, приводит к снижению скорости реакции окисления, и позволяет достичь 15%-го удаления ДБТ в течение 30 мин. В связи с ограниченной растворимостью катализатора в перексиде водорода дальнейшее увеличение мольного соотношения (более 1:2,5) невозможно.

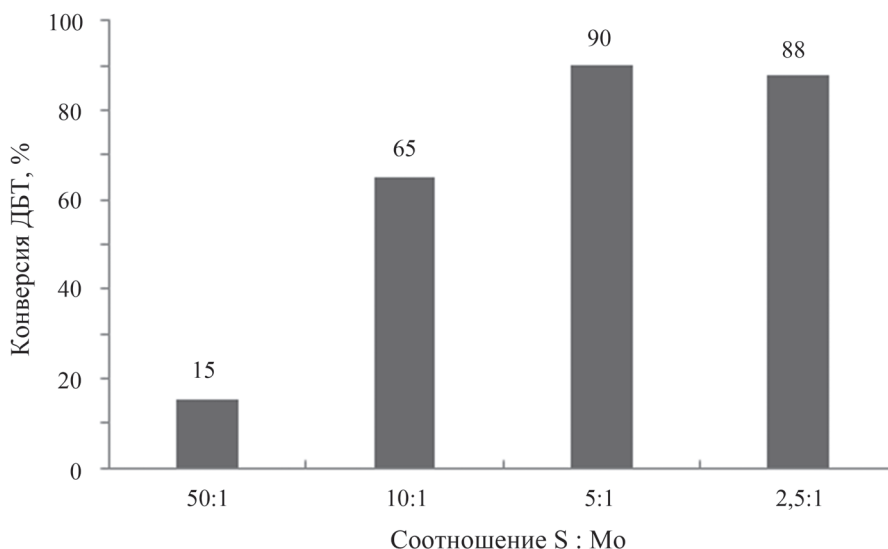


Рис. 7. Зависимость количества катализатора на конверсию ДБТ в присутствии N-3 ($\text{H}_2\text{O}_2:\text{S} = 4:1$; $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $t = 30$ мин; 1,5 мл CH_3CN)

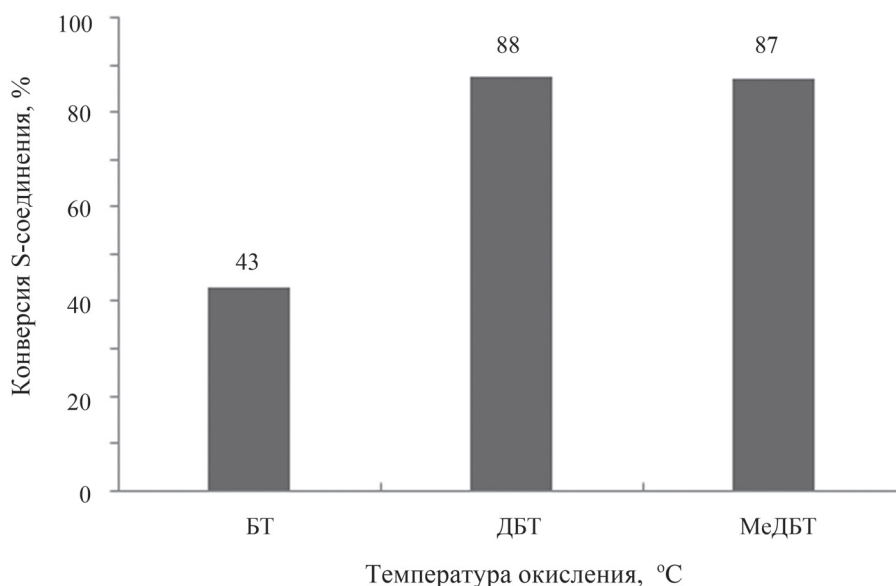


Рис. 8. Окисление производных БТ ($\text{H}_2\text{O}_2 : \text{S} = 4:1$, $\text{Mo}:\text{S} = 1:5$; $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $t = 30$ мин; 0,5 мл CH_3CN)

Следует отметить, что согласно рис. 7 конверсия ДБТ при уменьшении количества ионной жидкости до соотношения молибдена и серы, равного 1:10, снижается незначительно (до 65%), что свидетельствует о том, что катализатор продолжает работать при снижении его количества. Выбор для исследования свойств катализатора мольного соотношения молибдена и серы, равного 1:2,5, обусловлен тем, что при данном соотношении удастся достичь высокой конверсии

ДБТ при меньшем времени реакции (30 мин) по сравнению с предыдущими работами, в которых окисление проводили в течение 2–6 ч [3, 4]. Среди использованных в качестве субстратов окисления соединений (бензотиофен, дибензотиофен и 4-метилдибензотиофен) наименьшую активность проявляет бензотиофен, что хорошо согласуется с литературными данными по окислению этих соединений в других окислительных системах [14] (рис. 8).

Заключение

Осуществлен синтез катализатора окисления конденсированных производных тиофена пероксидом водорода на основе ионной жидкости, состоящей из катиона пиридиния с брønстедовской кислотностью и атомом молибдена в анионе. Исследована каталитическая активность молибдата 1-бутил-3-карбоксопиридиния в реакциях окисления различных классов серосодержащих соединений. Изучено влияние продолжительности

реакции, температуры, количества окислителя и катализатора на конверсию ДБТ. Подобраны оптимальные условия для окисления ДБТ, обеспечивающие 100%-ю конверсию в присутствии катализатора (молярное соотношение $\text{H}_2\text{O}_2:\text{S} = 10:1$, $\text{Mo}:\text{S} = 1:2,5$; температура реакции 50°C ; время реакции 120 мин.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-79-00116).

Конфликта интересов нет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hossain M., Park H., Choi H. // *Catalysts*. 2019. Vol. 9. N 3. P. 229 (doi.org/10.3390/catal9030229).
2. Ma X., Sun L., Song C. // *Catalysis Today*. 2002. Vol. 77. N 1–2. P. 107.
3. Akopyan A.V., Domashkin A.A., Polikarpova P.D., Tarakanova A.V., Anisimov A.V., Karakhanov E.A. // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2018. Vol. 52. N 5. P. 894.
4. Акопян А.В., Григорьев Д.А., Поликарпова П.Д., Есева Е.А., Литвинова В.В., Анисимов А.В. // *Нефтехимия*. 2017. Т. 57. № 5. С. 582 (DOI 10.7868/S0028242117050021) [Akopyan A.V., Grigoriev D.A., Polikarpova P.D., Eseva E.A., Litvinova V.V., Rakhmanov E.V., Anisimov A.V. // *Petroleum Chemistry*. 2017. Vol. 57. N 10. P. 904 (DOI 10.1134/S0965544117100024).
5. Акопян А.В., Федоров Р.А., Андреев Б.В., Тараканова А.В., Анисимов А.В., Караханов Э.А. // *Журнал прикладной химии*. 2018. Т. 91. № 4. С. 457.
6. Mei H., Mei B.W., Yen T.F. // *Fuel*. 2003. Vol. 82. N 4. P. 405.
7. Рахманов Э.В., Тараканова А.В., Валиева Т., Акопян А.В., Литвинова В.В., Максимов А.Л., Анисимов А.В., Вакарин С.В., Семерикова О.Л., Зайков Ю.П. // *Нефтехимия*. 2014. Т. 54. № 1. С. 49.
8. Thakarnpruk W., Rujiraworawut K. // *Fuel Processing Technology*. 2009. Vol. 90. N 3. P. 411.
9. Collins F.M., Sharp C., Lucy A.R. // *J. Molecular Catalysis A: Chemical*. 1997. Vol. 117. N 1–3. P. 397.
10. Sachdeva T.O., Pant K.K. // *Fuel Processing Technology*. 2010. Vol. 91. N 9. P. 1133.
11. Zhao D., Wang Y., Duan E., Zhang J. // *Fuel Processing Technology*. 2010. Vol. 91. N 12. P. 1803.
12. Zhuang J., Hu B., Tan J., Jin X. // *Transition Metal Chemistry*. 2014. N. 39. P. 213.
13. Jose Luis Garcia-Gutierrez, Gustavo A. Fuentes, Maria Eugenia Hernandez-Teran, Ponciano Garcia, Florentino Murrieta-Guevara, Federico Jimenez-Cruz // *Applied Catalysis A: General*. 2008. Vol. 334. P. 366.
14. Polikarpova P., Akopyan A., Shigapova A., Glotov A., Anisimov A., Karakhanov E. // *Energy Fuels*. 2018. Vol. 32. P. 10898.

Поступила в редакцию 10.03.2019

Получена после доработки 12.03.2019

Принята к публикации 14.04.2019

OXIDATION OF HETEROCYCLIC THIOPHENE DERIVATIVES BY IONIC LIQUID WITH BRØNSTED ACIDITY

A.V. Akopyan*, E.A. Eseva, P.D. Polikarpova, A.A. Kedalo, A.V. Anisimov

(Lomonosov Moscow State University, Chemistry faculty, Department of Petrochemistry; *e-mail: arvchem@yandex.ru)

Catalyst based on ionic liquid consisting of pyridinium cation, with Brønsted acid center and anion with molybdenum – molybdate 1-butyl-3-carboxypyridine has been synthesized. This catalytic activity in oxidative desulfurization was investigated. Oxidation reaction of kinetics, temperature of effect, the amount of oxidizing agent and catalyst mass on the conversion of DBT has been studied. A 100% conversion of DBT was achieved in the presence of catalyst under condition of the molar ratio $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{S} = 10:1$, $m(\text{cat}) = 0,02 \text{ g}$, 50°C , 120 min, 1,5 ml CH_3CN .

Key words: ionic liquid with Brønsted acid centers, molybdate containing catalysts, polyfunctional catalysts, hydrogen peroxide, oxidative desulfurization.

Сведения об авторах: *Акопян Аргам Виликович* – ст. науч. сотр. кафедры химии нефти и органического катализа химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, канд. хим. наук (argchem@yandex.ru); *Есева Екатерина Андреевна* – аспирант, инженер кафедры химии нефти и органического катализа химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (esevakatya@mail.ru); *Поликарпова Полина Димитровна* – инженер кафедры химии нефти и органического катализа химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (polikarпова-polina@gambler.ru); *Кедало Анастасия Андреевна* – студентка химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (nastya.kedalo@mail.ru); *Анисимов Александр Владимирович* – профессор кафедры химии нефти и органического катализа химического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, докт. хим. наук (sulfur45@mail.com).