

И.С. Иргибаетова*, ¹А.М. Жапакова, ²А.Б. Ералинов

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

*Автор для корреспонденции: irgsm@mail.ru

(e-mail: ¹asel.aitumbetova@gmail.com, ²alibek_06.kzr@mail.ru)

Эффективный метод улавливания CO₂ трис-основанием с образованием полимерной ионной жидкости

Аннотация. Все большее внимание уделяется изменению климата из-за возникновения парникового эффекта, это породило развивающуюся область исследований по поиску решений данной проблемы. В этой статье основное внимание уделяется разработке эффективного метода по улавливанию углекислого газа с образованием полимерной ионной жидкости без использования растворителей, согласно концепции «зеленой» химии. Для исследования был взят трис-амидин. Данные эксперименты используются в лабораторных масштабах.

Ключевые слова: улавливание CO₂, ионная жидкость, амидин.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2022-138-1-18-23>

Введение

С каждым годом увеличивается концентрация углекислого газа в атмосфере, это способствует глобальному потеплению, которое приводит к экологическим проблемам. 86% парниковых газов составляет выбросы углекислого газа при сжигании твердого топлива [1]. На сегодняшний день разработка эффективного метода улавливания CO₂ газа является актуальной темой для исследования. Хорошо изучены процессы по фиксации углекислого газа, такие как химически обратимое улавливание CO₂ первичными аминами в полярном апротонном растворителе с образованием карбаминовых кислот [2]. Однако эти процессы используют амины в два раза больше, а температура для высвобождения CO₂ довольно высокая.

Перспективная технология улавливания и использования углерода (CCS) заключается в преобразовании CO₂ в ценный продукт после первичного улавливания.

В последнее время углекислый газ рассматривают в качестве ископаемого источника. Поэтому перспективны переработка CO₂ и разработка новых технологий использования в энергетическом и химическом направлениях. Пищевая, химическая, электронная и многие другие промышленности используют CO₂ [3,4]. Так, в качестве альтернативного топлива и/или промежуточного продукта при производстве бензина, олефина возможно CO₂ преобразовать в диметиловый эфир [5]. Проекты CCS занимаются улавливанием углекислого газа непосредственно на промышленных предприятиях и дальнейшее хранение их в пластах-хранилищах под землей. По технологии CCS-EOR при утилизации углекислого газа в пласте увеличивается приток нефти к скважине, в результате понижается вязкость и увеличивается подвижность нефти. До 15% запасов нефти извлекается из пласта [6].

Альтернативой являются ионные жидкости, обладающие такими уникальными свойствами, как экологичность, стабильность, негорючесть и возможность повторного использования. Они широко используются в различных областях.

В нескольких исследованиях рассматривалось использование метода FTIR для мониторинга реакции CO₂ с производными амидина и гуанидина. В частности, образование бикарбоната при реакции амидина с CO₂ приводит к наличию полос при 1651 и 1602 см⁻¹, соответствующих валентным колебаниям протонированного группа C=N и бикарбонат соответственно.

В настоящем исследовании мы исследовали реакцию между диметилацеталем N, N-диметилформамида и алифатическим амином, содержащим три гидроксигруппы, такие как трис (гидроксиэтил) аминометан (ТРИС) с диметилацеталем N,N-диметилформамида. Продуктом этой реакции является гидроксисодержащее производное амидина. Его взаимодействие с диоксидом углерода, приводящее к образованию полимерной ионной жидкости, исследовано методами ИК-Фурье и измерением вязкости.

Материалы и методы исследования

Общая методика исследования по синтезу трис-амидинов выглядит следующим образом: трис-амин добавляют к N, N – диметилформамид диметилацеталь при перемешивании в колбу при температуре 40-50°C в течение 3-х часов. Барботирование CO₂-газа через раствор приготовленного трис-амидина проводили при комнатной температуре, в результате образуется очень вязкая полимерная ионная жидкость (Рисунок 1).

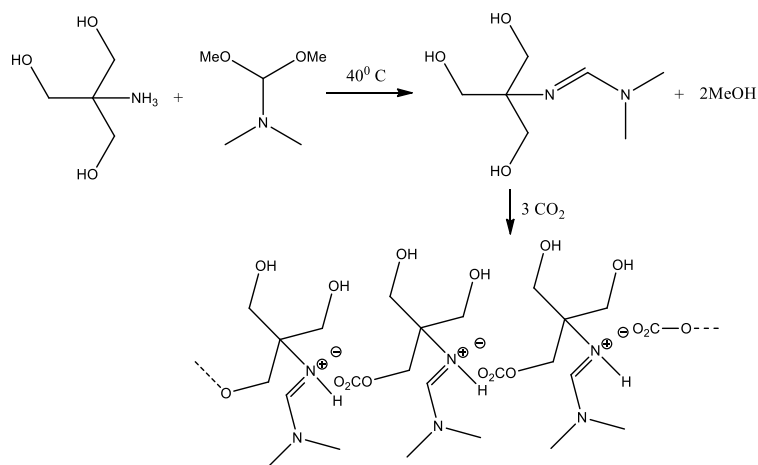


Рисунок 1. Приготовление амидинового производного реакцией трис-основания с диметоксиацеталем диметилформамидом

Вязкость измеряли капиллярным вискозиметром ВПЖ-4 (Рис.1). Для этого брали 0,5 г амидина и 15 мл растворителя и измеряли относительную вязкость с использованием времени истечения раствора t и времени истечения растворителя t_0 ($\eta_{\text{отн}} = t / t_0$)



Рисунок 2. Вискозиметр ВПЖ-4 для измерения относительной вязкости

Результаты

В ходе продувания CO₂-газом раствора трис-амидина при 80 минут увеличилась вязкость, что характеризует полимерную ионную жидкость.

Согласно литературным данным [7, 8, 9], в ИК-спектрах продукта взаимодействия амидинов с CO₂ наблюдается сильный пик с центром при 1652 см⁻¹. в диапазоне 1700–1550 см⁻¹, что соответствует поглощению C=N⁺ амидинового фрагмента, поглощению C=N свободного амидинового фрагмента. На рис.3 показаны FTIR-спектры гидроксилсодержащего амидина до барботирования CO₂.

Наиболее важные колебания, описывающие структуру, представлены на Рис. 3 и 4. Результаты показывают, что по мере поглощения CO₂ увеличивается карбонильная группа, а нитрильная уменьшается.

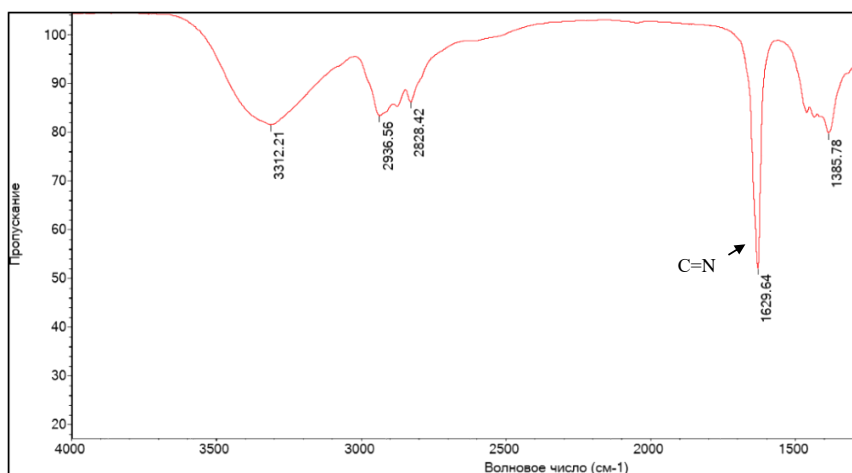


Рисунок 3. ИК-спектр трис-амидина

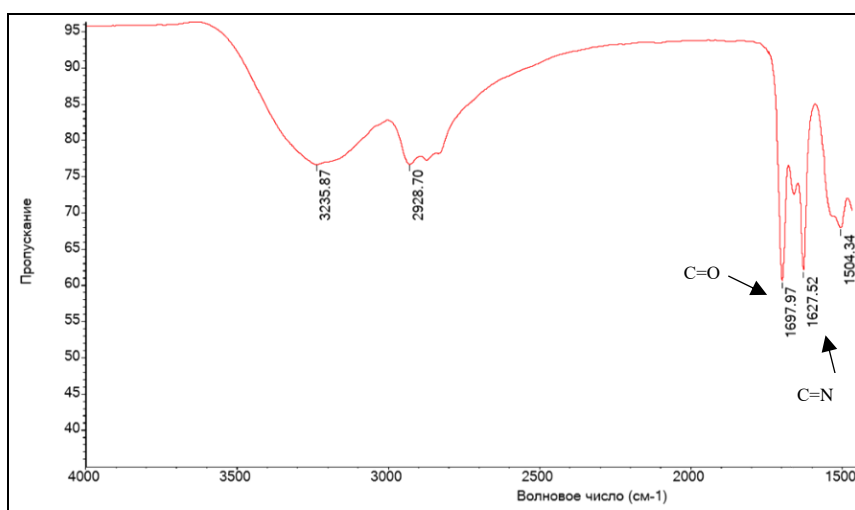


Рисунок 4. ИК-спектр поглощения CO₂ при 80 мин

По результатам вязкости (Рис.5.) можно сказать, что взаимодействие между амидином и CO₂ в растворе является обратимым и находится в равновесии быстрее, чем проведено измерение. Исходя из этого было рассмотрено барботирование при 120 мин.

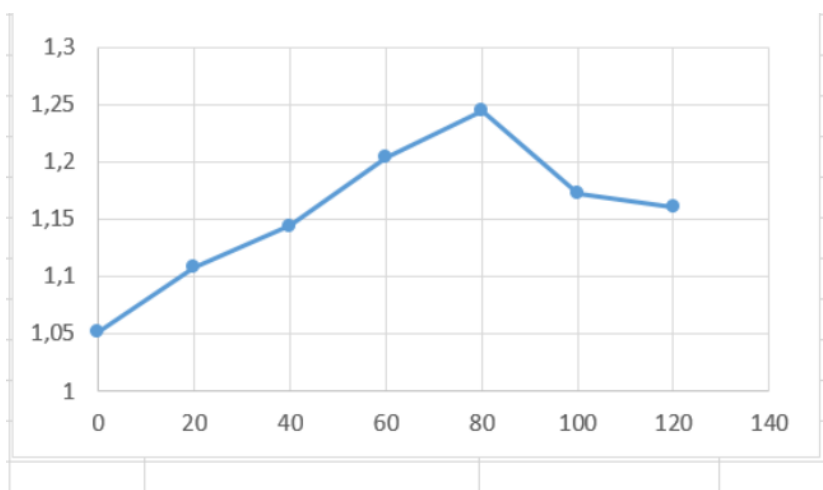


Рисунок 5. Зависимость относительного увеличения вязкости от времени реакции амида с CO_2

Заключение

Как видно из результатов исследования, синтезированный трис-амидин эффективно поглощает диоксид углерода. При этом вязкость вещества с повышением времени реакции с CO_2 начинает увеличиваться. Это свидетельствует о синтезе полимерной ионной жидкости и эффективном поглощении углекислого газа трис-амидином. Разработанный на основе трис-амидаина метод улавливания диоксида углерода ресурсо- и энергосберегающая технология не требует лишних затрат. Метод прост в использовании, безопасен и экономически рентабелен.

Список литературы

1. Metz B. et al. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage, prepared by working group III of the intergovernmental panel on climate change // Cambridge University Press. – New York, 2005. – P. 3-15.
2. Hampe E.M., Rudkevich D.M. Exploring reversible reactions between CO_2 and amines // Tetrahedron. – 2003. – №59. – P.9619-9625.
3. Park S.E., Chang J.S., Lee K.W. Carbon Dioxide Utilization For Global Sustainability // Proceedings of 7th the International Conference on Carbon Dioxide Utilization. – 2004. – Vol. 153. – P. 17, 91, 303.
4. Omae I. Aspects of carbon dioxide utilization // Catalysis today. – 2006. – Vol. 115, № 1-4. – P. 33-52.
5. Тумина Т.С. Переработка углекислого газа // Молодой ученый. – 2018. – № 20 (206). – С. 117-119.
6. Малов А. За дымовой завесой. Как утилизация углекислого газа изменит мир. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.forbes.ru/biznes/352641-za-dymovoy-zavesoy-kak-utilizaciya-uglekislogo-gaza-izmenit-mir> (дата обращения: 15.04.2022).
7. Mun J.H., Shin B.J., Kim S.M., You J.K., Park Y.C., Chun D.H., Lee J.S., Min B.M., Lee U., Kim K.M., Moon J.H. Optimal MEA/DIPA/water blending ratio for minimizing regeneration energy in absorption-based carbon capture process: Experimental CO_2 solubility and thermodynamic modeling // Chemical Engineering Journal. – 2022. – Vol. 444. – P. 136523.
8. Liu F., Jing G., Lv B., Zhou Z. High regeneration efficiency and low viscosity of CO_2 capture in a switchable ionic liquid activated by 2-amino-2-methyl-1-propanol // International Journal of Greenhouse Gas Control. – 2017. – Vol. 60. – P. 162-171.

9. Shohrat A., Zhang M., Hu H., Yang X., Liu L., Huang H. Mechanism study on CO₂ capture by ionic liquids made from TFA blended with MEA and MDEA // International Journal of Greenhouse Gas Control. – 2022. – Vol. 119. – P. 103709.

И.С. Иргибаетова, А.М. Жапакова, А.Б. Ералинов

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Полимерлі иондық сұйықтық түзіле отырып трис негізінде CO₂ тұтудың тиімді әдісі

Аңдатпа. Парниктік эффект пайда болғалы климаттың өзгеруіне үлкен назар бөлінгелі, осы мәселенің шешімін табуға бағытталған зерттеу саласының кеңейуі байқалуда. Берілген мақалада негізгі назар «жасыл» химия концепциясы бойынша еріткіштерді қолданбай, полимерлі иондық сұйықтық түзу арқылы көмірқышқыл газын алудың тиімді әдісін жасауға бағытталған. Зерттеу үшін трис-амидин қарастырылды. Берілген тәжірибелер зертханалық масштабта қолданысқа ие.

Түйін сөздер: CO₂ тұту, иондық сұйықтық, амидин.

I.S. Irgibaeva, A.M. Zhapakova, A.B. Yeralinov

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

An effective method of CO₂ capture with a tris-base with the formation of polymer ionic liquid

Abstract. Increased attention to climate change due to the emergence of the greenhouse effect has led to an expansion of the field of research aimed at finding solutions to this problem. The article is devoted to the development of an effective method for capturing carbon dioxide with the formation of a polymeric ionic liquid without the use of solvents, according to the concept of "green" chemistry. The authors considered Tris-amidine in the study. These experiments would be used on a laboratory scale.

Keywords: CO₂ capture, ionic liquid, amidine.

References

1. Metz B. et al. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage, prepared by working group III of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. (New York, 2005, 3-15).
2. Hampe E.M., Rudkevich D.M. Exploring reversible reactions between CO₂ and amines, Tetrahedron, 59, 9619-9625 (2003).
3. Park S.E., Chang J.S., Lee K.W. Carbon Dioxide Utilization For Global Sustainability, Proceedings of 7th the International Conference on Carbon Dioxide Utilization, 153, 17, 91, 303 (2004).
4. Omae I. Aspects of carbon dioxide utilization, Catalysis today, 115(1-4), 33-52 (2006).
5. Tumina T.S. Pererabotka uglekislogo gaza, Molodoj uchenyj [Carbon Dioxide Processing, Young Scientist], 20(206), 117-119 (2018). [in Russian]
6. Malov A. Za dymovoj zavesoj. Kak utilizaciya uglekislogo gaza izmenit mir [Behind the smoke screen. How carbon dioxide recycling will change the world]. [Electronic resource] – Available at: <https://www.forbes.ru/biznes/352641-za-dymovoy-zavesoy-kak-utilizaciya-uglekislogo-gaza-izmenit-mir> (Accessed: 15.04.2022).
7. Mun J.H., Shin B.J., Kim S.M., You J.K., Park Y.C., Chun D.H., Lee J.S., Min B.M., Lee U., Kim K.M., Moon J.H. Optimal MEA/DIPA/water blending ratio for minimizing regeneration energy in absorption-based carbon capture process: Experimental CO₂ solubility and thermodynamic modeling, Chemical Engineering Journal, 444, 136523 (2022).

8. Liu F., Jing G., Lv B., Zhou Z. High regeneration efficiency and low viscosity of CO₂ capture in a switchable ionic liquid activated by 2-amino-2-methyl-1-propanol, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 60, 162-171 (2017).

9. Shohrat A., Zhang M., Hu H., Yang X., Liu L., Huang H. Mechanism study on CO₂ capture by ionic liquids made from TFA blended with MEA and MDEA, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 119, 103709 (2022).

Сведения об авторах:

Иргибаетова И.С. – доктор химических наук, профессор, кафедра «Химии», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Жапакова А.М. – магистрант 2-го курса образовательной программы «7М05301 – «Прикладная химия», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Ералинов А.Б. – магистрант 2-го курса образовательной программы «7М05301 – «Прикладная химия», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

Irigibaeva I.S. – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of "Chemistry", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Zhapakova A.M. – The 2nd year Master student in Applied Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Yeralinov A.B. – The 2nd year Master student in Applied Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.