

Глубокие эвтектические растворители (ГЭР, от английского DES – Deep Eutectic Solvents) считаются одной из наиболее перспективных экологически чистых и экономически выгодных альтернатив традиционным летучим органическим растворителям и ионным жидкостям [1–2].

В текущей работе было исследовано фазовое равновесие жидкость-жидкость в расслаивающихся системах *n*-бутанол – *n*-бутилформиат – DES (ChCl/Ur) и *n*-бутанол – *n*-бутилформиат – DES (ChCl/Glu) при 40 °C и атмосферном давлении. В качестве донора водородной связи при приготовлении DES выступал хлорид холина. Акцепторы водородной связи в данном случае – мочевины и глутаровая кислота. Соотношение компонентов DES, при котором у смеси наблюдается наибольшая эвтектика – 1 : 2 для системы с мочевиной и 1 : 1 для системы с глутаровой кислотой соответственно [3]. Изучение равновесия жидкость-жидкость проводили в приготовленных растворах *n*-бутанол – *n*-бутилформиат – DES с заданным соотношением компонентов, при которых система оставалась гетерогенной. Анализ составов равновесных фаз проводили методом ¹H ЯМР-спектроскопии. На основе полученных данных строили фазовые диаграммы, отображающие ноды, соединяющие составы равновесных сосуществующих фаз.

Эффективность разделения системы спирт – сложный эфир оценивали путем расчета коэффициентов распределения *n*-бутанола и *n*-бутилформиата в системе, а также показаний селективности. Полученные результаты показали, что DES с мочевиной более селективно экстрагирует *n*-бутанол из смеси *n*-бутанол – *n*-бутилформиат, чем DES с глутаровой кислотой. Также было выявлено падение селективности разделения при увеличении доли спирта в исследуемых системах. В системе с глутаровой кислотой наблюдается наиболее интенсивное падение селективности при увеличении доли спирта в системе.

Корректность полученных экспериментальных данных была оценена путем моделирования равновесия жидкость-жидкость по уравнению Non-Random Two-Liquid (NRTL) [4]. Расчетные данные показали хорошую корреляцию с результатами эксперимента.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-3520.2022.1.3), а также при поддержке Российского научного фонда (грант 20-73-10007). Аналитическая часть работы выполнена при помощи ресурсного центра «Магнитно-резонансные методы исследования» СПбГУ.

Список литературы

1. Oliveira M. V. S., Vidal B. T., Melo C. M., de Miranda R. d. C. M., Soares C. M. F., Coutinho J. A. P., Ventura S. P. M., Mattedi S., Lima Á. S. // *Chemosphere*, 2016. – V. 147. – P. 460–466.
2. Dai Y., van Spronsen J., Witkamp G.-J., Verpoorte R., Choi Y. H. // *Anal. Chim. Acta*, 2013. – V. 766. – P. 61–68.
3. Abbott A. P., Harris R. C., Ryder K. S., D'Agostino C., Gladden L. F., Mantle M. D. // *Green Chem.*, 2011. – V. 13. – № 1. – P. 82–90.
4. Renon H., Prausnitz J. M. // *AIChE J*, 1968. – V. 14. – P. 135–144.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБОФУРАНА В ЦИТРУСОВЫХ ПРОДУКТАХ МЕТОДОМ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

А. Н. Соломоненко, А. В. Саломатова

Научный руководитель – к.х.н., доцент Е. В. Дорожки

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, ans51@tpu.ru

Пестициды представляют собой многочисленную и разнообразную группу химических соединений, которые используются для унич-

тожения вредителей в сельском хозяйстве. Но, несмотря на их достоинства, пестициды являются одними из наиболее токсичных веществ. Их

чрезмерное использование оказывает пагубное воздействие на человека и окружающую среду. Как следствие, на citrusовых продуктах остаются значительные остатки пестицидов, которые представляют потенциальную опасность для здоровья потребителей [1]. В частности, Карбофуран ($C_{12}H_{15}NO_3$, КБФ), зарегистрирован в России под торговым названием «Фурадан», является пестицидом системного действия, применяется в сельскохозяйственной промышленности для уничтожения вредителей.

Механизм действия КБФ заключается в блокирующем действии на функции нервно-мышечной системы, поскольку он угнетает ацетилхолинэстеразу и как следствие происходит накопление ацетилхолина и затруднение нормального прохождения нервных импульсов. Таким образом, необходимо использовать современные аналитические методы обнаружения и количественного определения КБФ для контроля пищевых продуктов. В последнее время внимание исследователей уделяется электрохимическим методам анализа, в частности разработке электрохимических сенсоров, поскольку они обладают такими преимуществами, как экспрессность, портативность и высокая чувствительность.

В данной работе целью является разработка методики определения КБФ в citrusовых продуктах с помощью модифицированных хроматографическим сорбентом электродах.

Определение КБФ проводилось методом вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала в диапазоне от $-0,6$ до $+1,2$ В. Суспензию для модифицирования рабочего углеродсодержащего электрода готовили путем смешивания микрокристаллического графита, полистирола и хроматографического сорбента на основе ацетилацетоната никеля с добавлением 1,2-дихлорэтана.

Полученную смесь перемешивают до получения однородной суспензии и наносят $0,004$ см³ суспензии на рабочую поверхность графитового электрода. Затем регистрируют анодные максимумы электроокисления КБФ при скорости развертки потенциала 100 мВ/с в фоновом электролите $0,1$ моль/дм³ фосфатного буферного раствора с pH $6,86$. Отличием от работы [2] является отсутствие накопления КБФ на электроде, что значительно ускоряет процесс определения КБФ в реальных объектах.

Модифицированный электрод был успешно применен для определения КБФ в лимоне и мандарине, путем добавления различных количеств КБФ (5 ; 25 ; 75 мкмоль/дм³). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Определение КБФ в лимоне и мандарине в фосфатном буферном растворе (pH $6,86$)

Образец	Введено (мкмоль/дм ³)	Найдено (мкмоль/дм ³)
Лимон	5	5
	25	25
	75	71
Мандарин	5	4,2
	25	25
	75	80

Таким образом, предлагаемая методика определения КБФ в citrusах на модифицированном хроматографическим сорбентом электроде может быть использована для эффективного экологического мониторинга различных природных объектов.

Работа поддержана Государственным Задаанием РФ «Наука». Проект FSWW-2023-0008.

Список литературы

1. Oliva R., Gemal A. L., Nóbrega A. W., Araújo A. C. P. Pesticide monitoring programme of the Ministry of Health of Brazil // *Food Additives & Contaminants*, 2003. – V. 20. – P. 758–763.
2. Соломоненко А. Н. Вольтамперометрическое определение карбофурана в почве на модифицированных хроматографическим сорбентом электродах // *Химия и химиче-*

ская технология в XXI веке: Материалы XXIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера. В 2-х томах, Томск, 16–19 мая 2022 года. Том 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 392–393.