

наибольшая эвтектика – 1 : 2 соответственно [3]. Далее были приготовлены смеси различного количественного состава этанол – этилформиат – DES. Затем было исследовано равновесие жидкость-жидкость в приготовленных системах при двух температурах (20 и 40 °С). Исследование проб каждой из фаз было проведено с помощью метода  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии. По полученным в результате анализа данным была построена фазовая диаграмма, на которой изображены ноды, соединяющие составы сосуществующих равновесных фаз (Рис. 1).

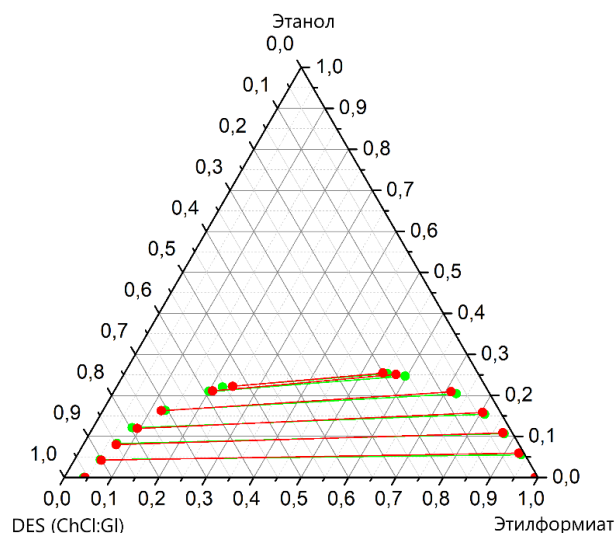
Помимо экспериментальных данных в работе было проведено моделирование фазового равновесия по уравнению NRTL [4]. Данные расчетов показали хорошую корреляцию с экспериментом.

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских

#### 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.



**Рис. 1.** Равновесие жидкость-жидкость в системе этанол – этилформиат – DES (ChCl:Gl) при 20 (●) и 40 (●) °С

ученых (МК-3520.2022.1.3), а также при поддержке Российского научного фонда (грант 20-73-10007).

## ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАРБОФУРАНА В ПОЧВЕ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМ СОРБЕНТОМ ЭЛЕКТРОДАХ

А. Н. Соломоненко

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

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

Своевременное выявление неблагоприятных свойств почв при различных видах их использования и развития естественных почвообразовательных процессов вызывает необходимость проведения мониторинга почв. Вследствие этого важнейшей задачей почвенного мониторинга является контроль загрязнения почв органическими загрязнителями и тяжелыми металлами.

Пестициды являются органическими загрязнителями окружающей среды, часто содержащимися в почве, воде, атмосфере и сельскохозяйственной продукции, и могут создавать экологическую угрозу. Так, карбофуран (КБФ,  $\text{C}_{12}\text{H}_{15}\text{NO}_3$ ) является самым токсичным карбаматным пестицидом, который применяется как действующее вещество гранулированных препаратов для борьбы с почвенными вредите-

лями [1]. Вещества на его основе относятся к I классу опасности для человека.

Основным источником загрязнения окружающей среды карбофураном является либо прямое применение в сельскохозяйственных полях и отраслях промышленности, либо косвенное – дрейф и испарение с обработанных полей, загрязняющих воздух, почву, водные объекты, нецелевые растения и животных. Точное количество пестицида, который наносится на посевы, никогда полностью не достигает целевого организма, и большая часть его количества рассеивается в окружающей среде, загрязняя, таким образом, воздух, почву и водные экосистемы.

Таким образом, крайне необходимо задействовать современные аналитические методы обнаружения и количественного определения КБФ для контроля экологической безопасности.

Электрохимические методы представляют интересными методами анализа для количественного определения КБФ, благодаря своим характеристикам, таким как экспрессность, дешевизна и портативность. В связи с этим целью нашей работы является вольтамперометрическое определение КБФ на модифицированных углеродсодержащих электродах.

Модифицирующая смесь состояла из углеродных чернил с включением хроматографического сорбента (ХС) на основе хроматона, полиэтиленгликоля (ПЭГ) и ацетилацетоната железа ( $\text{Fe}(\text{AA})_3$ ). Использование нами модифицирующей смеси увеличивало чувствительность прямого вольтамперометрического определения КБФ в реальных объектах за счет добавления ХС, поскольку структура сорбента пористая и возникает сорбция вещества на электроде. Включение ХС в качестве электродных модификаторов открывает возможности безотходного

использования сорбента колонки в рамках утилизации материалов.

Электрохимическое поведение КБФ на модифицированных электродах изучали методом циклической вольтамперометрии в диапазоне потенциалов от  $-1$  до  $1,2$  В и спектроскопии электрохимического импеданса в фосфатном буферном растворе pH 6,86.

Аналитический сигнал КБФ после гидролиза регистрировали методом вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала в фоновом электролите  $0,1$  М фосфатного буферного раствора, при следующих условиях: потенциал накопления  $+0,3$  В, время накопления  $100$  с, скорость сканирования  $100$  мВ/с, хлоридсеребряные электроды – вспомогательный и электрод сравнения. При оптимальных условиях для модельных растворов КБФ предел обнаружения составлял  $0,08$  мкмоль/дм<sup>3</sup> с линейной зависимостью концентрации в диапазоне от  $0,25$  до  $10$  мкмоль/дм<sup>3</sup>.

Поскольку КБФ применяется для обработки семян сахарной и кормовой свекл, рапса и горчицы, т.е. основное место его накопления является почва, предложенный модифицированный электрод был успешно применен для определения КБФ в образцах почв Мурманской области.

Таким образом, предлагаемая методика определения пестицида в почве на модифицированных электродах методом вольтамперометрии может быть использована для эффективного экологического мониторинга различных природных объектов. Она отличается высокой мобильностью (можно работать в полевых условиях), экспрессностью и чувствительностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ «Наука» № FSWW-2020-0022 и РФФИ в рамках научного проекта № 19-53-26001.

### Список литературы

1. Mishra S., Zhang W., Lin Z., Pang S., et al. // *Chemosphere*, 2020. – V. 259. – 127419.