

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ**

Лекарственные растения являются важным источником биологически активных соединений с широким спектром практически полезных свойств, среди которых значимая роль отводится антиоксидантам. Различные виды антиоксидантов, синтезируемые в лекарственных растениях, обуславливают их применение в медицине, фитотерапии и ароматерапии [1]. Поэтому необходимы надежные, простые, экономичные, экологичные и экспрессные методы оценки антиоксидантных свойств лекарственных растений и продуктов на их основе.

Электрохимические методы, основанные на реакциях переноса электрона, являются перспективным инструментом для решения этой проблемы и показали свою эффективность в анализе экстрактов, отваров и настоев лекарственного растительного сырья [2]. Тем не менее, эфирные масла, активно применяемые в фитотерапии и медицине практически не рассматриваются как объекты электроанализа. Учитывая их сложный химический состав, для скрининга образцов представляет интерес оценка обобщенных антиоксидантных параметров, характеризующих образец в целом и позволяющих учесть синергетические и антагонистические эффекты отдельных антиоксидантов. Так, описан способ вольтамперометрической оценки антиоксидантной емкости эфирных масел мяты [3], основанный на реакции их антиоксидантов с электрогенерированным супероксид анион-радикалом. Поэтому дальнейшее развитие в области электрохимической оценки антиоксидантных параметров эфирных масел представляет практический интерес.

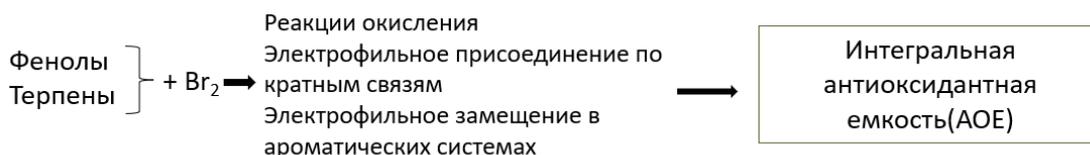
Фенольные соединения и терпены являются основными антиоксидантами эфирных масел, что подтверждается многочисленными данными газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). Однако установление фитохимического профиля эфирных масел достаточно трудоемкая процедура. Кулонометрия с электрогенерированными титрантами и вольтамперометрия могут рассматриваться как альтернатива для быстрого скрининга образцов эфирных масел.

Кулонометрическое титрование с электрогенерированными бромом и феррицианид-ионами впервые применено для оценки обоб-

ценных антиоксидантных параметров эфирных масел (интегральной антиоксидантной емкости по реакции с бромом и железовосстанавливающей способности по реакции с феррицианид-ионами). Данные по реакционной способности индивидуальных антиоксидантов эфирных масел (летучих фенолов и терпенов) с кулонометрическими титрантами (Рисунок 1) подтверждают применимость метода для характеристики антиоксидантных свойств эфирных масел.

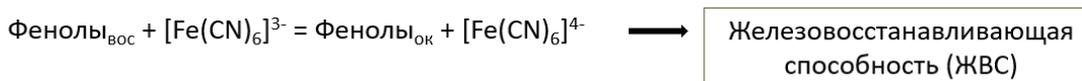
1. Реакция на аноде:  $2\text{Br}^- - 2\text{e}^- = \text{Br}_2$  **электрогенерированный**

Химическая реакция:



2. Реакция на аноде:  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} - \text{e}^- = [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  **электрогенерированные**

Химическая реакция:

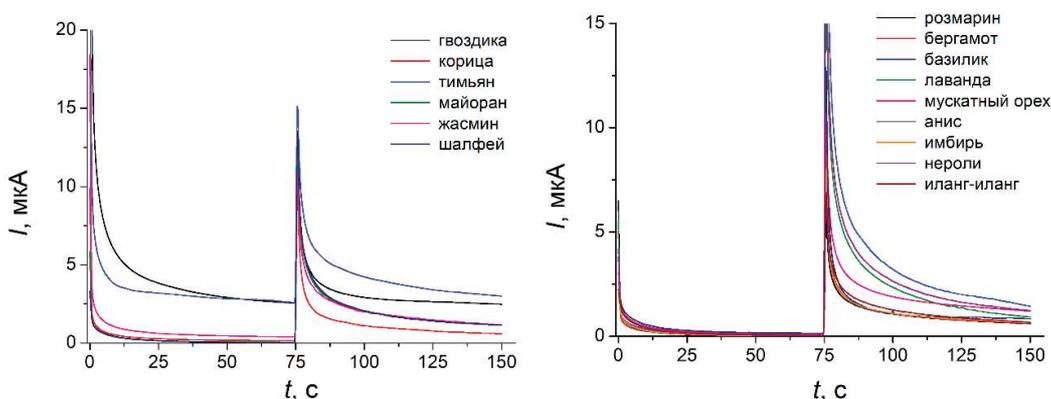


**Рисунок 1 - Кулонометрические подходы к оценке обобщенных антиоксидантных параметров эфирных масел**

Исследованы эфирные масла гвоздики, корицы, мускатного ореха, лаванды, имбиря, аниса, базилика, бергамота, жасмина, иланг-иланг, майорана, нероли, розмарина, тимьяна, шалфея различных торговых марок (всего 27 образцов). Показано, что железовосстанавливающая способность отражает общее содержание фенольных соединений в образцах и может использоваться в качестве альтернативы методу Фолина-Чокальтеу, который применим только к четырем эфирным маслам (гвоздики, корицы, тимьяна и мускатного ореха), для остальных образцов наблюдается образование эмульсий при добавлении фотометрических реагентов [4]. Другое преимущество кулонометрического титрования – возможность автоматизации и экспрессность, что делает его привлекательным инструментом для целей скрининга в повседневной практике.

Другой подход к оценке антиоксидантных свойств эфирных масел заключается в регистрации отклика их антиоксидантов на электродах в условиях вольтамперометрии или хроно методов. Установлено, что компоненты эфирных масел электроактивны на стеклоуглеродном электроде, модифицированном карбоксилированными углеродными нанотрубками. На дифференциально-импульсных вольтамперограммах эфирных масел в среде фосфатного буферного раствора pH

7.0 наблюдаются четкие пики окисления в областях 0.0-0.75 и 0.75-1.5 В, соответствующие окислению фенольных компонентов и терпенов, что подтверждается потенциалами окисления индивидуальных соединений этих групп. Для девяти эфирных масел регистрируются четкие пики окисления только во втором диапазоне потенциалов, что согласуется с данными газовой хроматографии по их основным компонентам. Эти данные позволили разработать двухступенчатый хроноамперометрический способ оценки антиоксидантной способности эфирных масел, основанный на электролизе образцов при потенциалах 0.80 и 1.4 В в течение 75 с для каждой ступени (Рисунок 2). Проведен скрининг 37 образцов эфирных масел из 15 видов растительного сырья.



**Рисунок 2 - Хроноамперограммы 10 мкл эфирных масел, разбавленных в 10 раз этанолом**

Результаты электрохимических определений сопоставлены со стандартными антиоксидантными параметрами (антиоксидантной активностью по отношению к 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилу и общим содержанием фенольных соединений). Положительные корреляции с коэффициентами 0.4458-0.9558, которые выше, чем критические значения, подтверждают правильность разработанных электрохимических подходов. При этом снимаются ограничения спектрофотометрических методов по анализу окрашенных образцов, необходимости использовать метанол в качестве растворителя для 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила и влияние воды на его светопоглощение, неприменимость метода Фолина-Чокальтеу к широкому кругу эфирных масел и т.д. Таким образом, полученные данные подтверждают применимость электрохимических методов в оценке обобщенных антиоксидантных параметров эфирных масел и скрининга образцов. Простота, быстрота, экономичность и надежность подходов, а также возможность миниатюризации делают их привлекательным инструментом для решения задач такого рода в качестве альтернативы хроматографии для быстрого скрининга эфирных масел.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Parham, S. Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials / S. Parham, A.Z. Kharazi, H.R. Bakhsheshi-Rad, H. Nur, A.F. Ismail, S. Sharif, S. RamaKrishna, F. Berto // *Antioxidants*. – 2020. – V. 9, № 12. – Article 1309.
2. Alam, M.W. Electrochemical methodologies for investigating the antioxidant potential of plant and fruit extracts: A review / M.W. Alam, J. Najeeb, S. Naeem, S.M. Usman, I. Nahvi, F. Alismail, A. Abuzir, M. Farhan, A. Nawaz, // *Antioxidants*. – 2022. – V. 11, № 6. – Article 1205.
3. Gonçalves, R.S. Antioxidant properties of essential oils from *Mentha* species evidenced by electrochemical methods / R.S. Gonçalves, A. Battistin, G. Pauletti, L. Rota, L.A. Serafini // *Rev. Bras. Pl. Med.* – 2009. – V. 11, № 4. – P. 372–382.
4. Ziyatdinova, G. Constant-current coulometry with electrogenerated titrants as a novel tool for the essential oils screening using total antioxidant parameters / G. Ziyatdinova, A. Kalmykova, O. Kupriyanova // *Antioxidants*. – 2022. – V. 11, № 9. – Article 1749.

УДК 535.371

В.С. Карпушенкова, Я.В. Фалетров, В.М. Шкуматов  
Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

### **NBD-АЗИДОАНИЛИН И NBD-ЭТИНИЛАНИЛИН: ИХ ТРИАЗОЛЬНЫЕ АДДУКТЫ В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОБ ДЛЯ АНАЛИЗА**

Цель данной работы заключается в исследовании взаимодействия нитробензоксадиазольных (NBD) производных NBD-4-азидоанилина с гексином-1 и NBD-3-этиниланилина с азидом натрия. В биохимических исследованиях интересно применение флуоресцентных свойств NBD-производных, в составе которых могут присутствовать различные дополнительные функциональные группы, влияющие на характеристики наблюдаемой флуоресценции. Благодаря флуоресцентным свойствам NBD-соединения потенциально применимы в качестве флуоресцентных красителей [2, 3], в диагностике различных заболеваний и в качестве биологических молекулярных проб [4]. Изучение фотохимии данных соединений может дать новые варианты многофункциональных молекулярных проб для исследований в рамках биотехнологии, а также варианты новых флуоресцирующих красителей для различных методов анализа.