

УДК 543.552.054.1

ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Ю. Б. ТЕРЕС, А. А. ВОЛКОВА, Р. А. ЗИЛЬБЕРГ

Уфимский университет науки и технологий

Уфа, Россия

Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры (ЭВС), созданные на базе комплексов переходных металлов, представляют собой инновационное направление в области аналитической химии [1–8]. Благодаря сочетанию переходных металлов и хиральных лигандов различного происхождения (природных и синтетических), такие комплексы обладают уникальными электрохимическими свойствами и обеспечивают высокую энантиоселективность, что позволяет надежно определять энантиомеры.

В рамках исследования разработана серия ЭВС на основе комплексов переходных металлов с хиральными лигандами природного и синтетического происхождения. Установлено, что гидрофильные комплексы с природными лигандами [1–4] демонстрируют оптимальные характеристики в составе композитных сенсоров на стеклоуглеродных электродах. В качестве модификатор-закрепляющего агента эффективно использовался полиэлектролитный комплекс, состоящий из хитозана и N-сукцинил-хитозана, а также полиариленфталид. Данные материалы обеспечивали эффективное закрепление хирального селектора и оптимальную электрохимическую активность. В то же время гидрофобные комплексы с синтетическими лигандами [4–8] обладают высоким сродством к графитированной термической саже CarboblackC и применяемому связующему веществу (сквалан) в составе пастовых электродов. Это позволило добиться гомогенного распределения хирального модификатора в объеме сенсора и улучшить воспроизводимость аналитических сигналов. Для достижения максимальной энантиоселективности были оптимизированы условия регистрации вольтамперограмм, включая состав хиральной фазы сенсора. Применимость и эффективность разработанных ЭВС успешно продемонстрированы при анализе энантиомеров ряда фармацевтических препаратов, таких как Tryptophan, Atenolol и Naproxen. Предложенные сенсоры характеризуются высокой чувствительностью, селективностью, исключительной стабильностью и широким линейным диапазоном. Путем регистрации вольтамперограмм последовательно разбавленных растворов исследуемых аналитов определены ключевые аналитические параметры сенсоров, включая линейный диапазон определяемых концентраций, LOD и LOG. Результаты проведенных исследований

свидетельствуют о перспективности использования разработанных сенсоров для количественного определения энантиомеров в сложных матрицах, таких как биологические жидкости (моча, плазма крови), таблетированные лекарственные формы, рацемические смеси, а также образцы с нестехиометрическим соотношением энантиомеров. Это открывает новые возможности для контроля качества лекарственных средств, мониторинга фармакокинетики и фармакодинамики хиральных препаратов, а также для анализа энантиомерной чистоты при синтезе биологически активных соединений. Разработанные ЭВС потенциально могут найти применение в фармацевтической, пищевой и химической промышленности, а также в клинической диагностике, обеспечивая высокую точность, надежность и возможность проведения экспресс-анализа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chiral selectors in voltammetric sensors based on mixed phenylalanine/alanine Cu(II) and Zn(II) complexes / R. A. Zilberg, T. V. Berestova, R. R. Gizatov [et al.] // *Inorganics*. – 2022. – Vol. 10, № 8. – P. 117.
2. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[Zn(L\text{-arg})_2(H_2O)]$ and $[[Zn(L\text{-arg})_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ as Chiral Selectors / R. R. Gizatov, Yu. B. Teres, M. N. Galimov [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. – 2025. – Vol. 51, № 2. – P. 119–128.
3. Вольтамперометрическое определение энантиомеров тирозина в фармацевтических и биологических образцах / Р. А. Зильберг, Г. Р. Каримова, А. С. Терентьева [и др.] // *Вестник Башкирского университета*. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 84–92.
4. Синтез и применение хелатных комплексов $[Zn(L\text{-arg})_2(H_2O)]$ и $[[Zn(L\text{-arg})_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ в качестве хиральных селекторов / Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.] // *Координационная химия*. – 2025. – Т. 51, № 5. – С. 315–326.
5. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.] // *Chirality*. – 2025. – Vol. 37, № 2. – P. e70025.
6. Chiral octahedral cobalt(III) complex immobilized on Carboblack C as a novel robust and readily available enantioselective voltammetric sensor for the recognition of tryptophan enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Ju. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2024. – Vol. 492. – P. 144334.
7. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors / O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. – 2025. – Vol. 51, № 3. – P. 200–210.
8. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2025. – Vol. 529. – P. 146309.