

**Отзыв научного руководителя
на диссертационную работу Верещагина Анатолия Андреевича на соискание
научной степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.6. Электрохимия**

**«СИНТЕЗ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА
ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ И
СВОБОДНЫХ НИТРОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ»**

Кандидатская работа Верещагина А.А. посвящена исследованию новых электроактивных полимеров, перспективных для использования в качестве катодных энергозапасующих материалов. Представленные в работе материалы на основе так называемых редокс-проводящих полимеров были созданы соискателем на базе новых гибридных молекул, полученных им впервые. Эти молекул построены на основе проводящего полимерного скелета и привитых редокс-активных групп. Подобные системы являются достаточно перспективными для использования в области аккумуляторов и супер-конденсаторов, поскольку они могут обладать преимуществами всех входящих в их состав функциональных фрагментов. Однако, электрохимические свойства гибридных молекул нельзя свести к простой суперпозиции свойств их компонентов. Существующие подходы, описывающие поведение проводящих или редокс-полимеров, не позволяют добиться полного понимания процессов, происходящих на молекулярном и межмолекулярном уровне в процессе функционирования редокс-проводящих материалов. Отсутствие модельных представлений функционирования существующих материалов затрудняет рациональный подбор дизайна новых веществ с желаемым набором свойств.

Основное содержание диссертационной работы Верещагина А.А. составляет описание синтеза и анализа поведения полимерных катодных материалов на основе новых гибридных молекул, обобщение полученных результатов и вывод ключевых особенностей, влияющих на успешность той или иной структуры. С целью анализа взаимодействия компонентов системы в ходе ее перезарядки и влияния такого взаимодействия компонентов на систему в целом были созданы композитные материалы на основе монокомпонентных полимеров в качестве отправной точки, а также несколько новых гибридных молекул, отличающихся структурой и свойствами. В результате исследований, проведенных Верещагиным А.А., был получен массив экспериментальных

данных, включающий в себя как результаты электрохимических тестов, так и различных спектральных и *operando* методов анализа. Благодаря широкому обзору литературы, исследуемые системы удалось классифицировать и выделить для них ключевые параметры, влияющие на энергозапасяющие свойства. Была показана сильная зависимость свойств полимеров от геометрии и структуры молекул, показана важность соответствия электрохимических рабочих окон компонентов для стабильного функционирования гибридных систем. Обобщенная полученная информация формирует модель, которая обеспечивает понимание электрохимических процессов и описание поведения гибридных электродных органических материалов. Таким образом, результаты данной диссертационной работы являются сильной фундаментальной основой для будущих прикладных разработок, поскольку облегчают поиск рационального дизайна новых электродных материалов с заданными свойствами.

Доклады по материалам диссертации были представлены на следующих конференциях:

1. Anatoliy A Vereshchagin, Daniil A Lukyanov, Oleg V Levin (14-18 November, 2022). Key Features of Hybrid TEMPO-Containing Redox-Conductive Polymers for Organic Batteries. XVII International Conference “Actual Problems of Energy Conversion in Lithium Electrochemical Systems”, Moscow, Russia (постерная сессия)
2. Anatoliy A Vereshchagin (9-11 November, 2021). Hybrid TEMPO-containing redox-conductive polymers for organic batteries. International Student Conference «Science and Progress-2021», St. Petersburg, Russia (устный доклад)
3. Anatoliy A Vereshchagin, Daniil A Lukyanov, Petr S Vlasov, Oleg V Levin (2-3 March, 2021). Hybrid TEMPO-containing Materials for Organic Batteries, 2021#RSCPoster Twitter Conference, United Kingdom (постерная сессия)
4. Anatoliy A Vereshchagin (10-12 November, 2020). New hybrid redox-conducting material for organic batteries. International Student Conference «Science and Progress-2020», St. Petersburg, Russia (устный доклад)
5. Anatoliy A Vereshchagin, Daniil A Lukyanov, Oleg V Levin (24 December, 2020). New hybrid redox-conducting material for organic batteries. International Conference on Natural Sciences and Humanities – «Science SPbU – 2020», St. Peterburg, Russia (устный доклад)
6. Anatoliy A Vereshchagin, Petr S Vlasov, Oleg V Levin (23-26 September, 2018). New tempo-containing cathode material for aqueous lithium-ion batteries, 3rd International Conference of Young Scientists on “Topical Problems of Modern Electrochemistry and Electrochemical Materials Science”, Moscow Region, Russia (постерная сессия)

7. Anatoliy A Vereshchagin, Galina A Grechishnikova, Petr S Vlasov, Oleg V Levin (September 17-20, 2018). Use of polymer nickel complexes with the Schiff bases in lithium-ion current sources, XV INTERNATIONAL CONFERENCE "Topical problems of energy conversion systems", Saint-Petersburg, Russia (постерная сессия)

8. Anatoliy A Vereshchagin, Petr S Vlasov, Oleg V Levin. (17-20 September, 2017). New cathode material based on organic tempo-containing composites, II International Conference of Young Scientists on "Topical Problems of Modern Electrochemistry and Electrochemical Materials Science", Moscow Region, Russia (постерная сессия)

По материалам диссертации было опубликовано 5 работ в реферируемых научных журналах:

1. Iia Kulikov*, Naitik A Panjwani*, Anatoliy A Vereshchagin*, Domenik Spallek, Daniil A Lukianov, Elena V Alekseeva, Oleg V Levin, Jan Behrends (2022). Spins at work: probing charging and discharging of organic radical batteries by electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Energy Environ. Sci.*, 15, 8, 3275-3290, DOI: 10.1039/D2EE01149B. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 39.714

2. Anatoliy A Vereshchagin, Arseniy Y Kalnin, Alexey I Volkov, Daniil A Lukyanov, Oleg V Levin (2022). Key Features of TEMPO-Containing Polymers for Energy Storage and Catalytic Systems. *Energies*, 15, 7, 2699, DOI: 10.3390/en15072699. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 3.252

3. Anatoliy A Vereshchagin, Daniil A Lukyanov, Iia R Kulikov, Naitik A Panjwani, Elena A Alekseeva, Jan Behrends, Oleg V Levin (2021). The Fast and the Capacious: A [Ni (Salen)]□ TEMPO Redox□Conducting Polymer for Organic Batteries. *Batter. Supercaps*, 4, 2, 336-346, DOI: 10.1002/batt.202000220. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 6.043

4. Anatoliy A Vereshchagin, Julia V Novoselova, Arseniy Y Kalnin, Daniil A Lukyanov (2021). 2-Hydroxy-3-(4-oxo (2, 2, 6, 6-tetramethylpiperidin-1-oxyl) butoxy) benzaldehyde. *Molbank*, 2021, 3, M1245, DOI: 10.3390/M1245. Квартиль журнала – Q4. Импакт-фактор журнала – 0.544

5. Anatoly A Vereshchagin, Petr S Vlasov, Alexander S Konev, Peixia Yang, Galina A Grechishnikova, Oleg V Levin. (2019). Novel highly conductive cathode material based on stable-radical organic framework and polymerized nickel complex for electrochemical energy storage devices. *Electrochim. Acta*, 295, 1075-1084, DOI: 10.1016/j.electacta.2018.11.149. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 7.336

Стоит отметить, что Верещагин А.А. в ходе обучения в аспирантуре СПбГУ получил хорошую научную и практическую подготовку, а также развил необходимые для научной работы коммуникативные навыки в результате коллабораций с другими, в том

числе и зарубежными, научными группами. В процессе выполнения диссертационной работы Верещагин А.А. проявил заинтересованность и самостоятельность. Работа выполнена на высоком научном уровне, посвящена актуальной теме и содержит оригинальные результаты. Все перечисленные выше результаты могут быть использованы в практических целях.

Считаю, что Верещагин А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук.

Научный руководитель
доктор химических наук,
профессор кафедры электрохимии
Института химии Санкт-Петербургского
государственного университета

22.02.23

Левин О.В.



22.02.2023

