ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Филиппова Вадима Леонидовича на тему Электрохимическое и контактное осаждение меди в глубоких эвтектических растворителях на основе холинхлорида», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.6. Электрохимия

Диссертационная работа Филиппова В.Л. посвящена актуальной проблеме современной электрохимии – поиску экологически безопасных электролитов для прямого меднения электроотрицательных подложек. Традиционные водные растворы не обеспечивают адгезионно-прочных покрытий на железе и сталях из-за реакции контактного осаждения (КО), а применяемые для её подавления цианидные и пирофосфатные электролиты имеют известные экологические и эксплуатационные ограничения. В этом контексте исследование глубоких эвтектических растворителей (ГЭР) на основе холинхлорида представляется вполне обоснованным: такие среды обладают хорошей ионной проводимостью, высокой электрохимической и термической стабильностью, способны растворять оксиды и соли металлов, а их высокая вязкость и комплексообразующая способность могут подавлять КО. Актуальность работы усиливается тем, что процессы контактного и электрохимического осаждения в ГЭР, особенно на практически значимых подложках (железо, углеродистая и нержавеющая сталь) и в присутствии воды, остаются недостаточно изученными.

Автореферат даёт достаточно полное представление о содержании и структуре работы. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений: они опираются на современный комплекс электрохимических и физико-химических методов (вольтамперометрия, хроноамперометрия, ИСП-МС, СЭМ, ЭДРС, АСМ), на тщательный контроль условий эксперимента (температура, содержание влаги) и хорошо согласуются с литературными данными. Выводы и положения, выносимые на защиту, логично вытекают из экспериментального материала. Апробация работы также достаточна: материалы опубликованы в 18 научных работах, включая 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, и 14 тезисов докладов конференций.

Научная новизна работы представляется несомненной. Впервые систематически исследована электрохимическая стабильность трёх ГЭР на основе холинхлорида (эталайна, глицелайна и релайна) в зависимости от материала электрода; показано, что катодная граница электрохимического окна определяется главным образом природой подложки, а не донора водородной связи. Впервые установлен электрохимический ряд активности

металлов в эталайне (Ni > Cu ~ Co > Sn > Fe > In), существенно отличающийся от наблюдаемого в водных средах, что открывает возможность прогнозирования реакций контактного обмена, в том числе не наблюдаемых в водных растворах. Автором количественно оценена скорость КО меди на железе, углеродистой и нержавеющей стали в эталайне, в том числе с использованием метода ИСП-МС; выявлены принципиальные различия в механизме процесса для Cu(I) и Cu(II) и показано влияние материала подложки. Важным результатом является вывод о том, что КО не оказывает заметного отрицательного влияния на электрохимическое меднение электроотрицательных подложек в эталайне, а также предложенный двухимпульсный потенциостатический режим получения адгезионно-прочных покрытий на нержавеющей стали. Также, заслуживает внимания комплексное исследование влияния природы донора водородной связи и содержания воды на вязкость, коэффициенты диффузии, механизмы диффузии и кинетику электроосаждения меди. Выявлены отклонения диффузии ионов контексте модели Сазерленда и теории дырок.

Практическая значимость работы также очевидна. Показано, что КО меди в эталайне протекает значительно медленнее, чем в водных растворах, и не препятствует получению адгезионно прочных покрытий на железе и углеродистой стали. Для нержавеющей стали предложен двухимпульсный режим с интенсивным перемешиванием, обеспечивающий удовлетворительную адгезию, в том числе в присутствии до 5,3 М воды, что позволяет работать в атмосферных условиях без инертной атмосферы. Это существенно упрощает технологическое применение предложенных подходов.

Вместе с тем по автореферату можно сделать ряд замечаний и задать следующие вопросы:

- В автореферате не обсуждается сплошность (либо пористость) и, соответственно, коррозионная стойкость полученных медных покрытий, что было бы важно с точки зрения практической значимости.
- В работе указан термин ДС (движущая сила, размерность Вольт). Хотелось бы уточнить, как она соотносится с термодинамической величиной ЭДС (электродвижущая сила, размерность Вольт)?
- В описании главы 3 величина «потенциал начала растворения» приравнивается к термодинамической величине «равновесный потенциал». На мой взгляд это не совсем корректно, пока не будет доказана обратимость реакции поскольку «… отсутствие существенных перенапряжений…» – это недостаточный критерий, наравне с использованием концентрации вместо активности).

- Нуклеационный пик представлен на Рисунке 5В, а не 5Б.

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей высокой оценки работы. Автореферат написан ясным научным языком, логично структурирован, содержит достаточное количество иллюстративного материала. Работа «Электрохимическое и контактное осаждение меди в глубоких эвтектических растворителях на основе холинхлорида» полностью соответствует требованиям пп. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Работа заслуживает высокой оценки, а её автор достоин присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.6. Электрохимия.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории Электрокатализа
ИФХЭ РАН,
кандидат химических наук *Клюев Алексей Леонидович*

e-mail: klyuevchem@mail.ru
дата 14.09.2026

Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
г. Москва,
ИФХЭ РАН

Я, Клюев Алексей Леонидович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с работой диссертационного совета 24.1.141.02.

Клюев А.Л.

Подпись Клюева А.Л. заверяю:
Ученый секретарь ИФХЭ РАН
к.х.н. Шапагина Наталья Андреевна

«14» 09 2026 г.