

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 2.6.03.08
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК**

от «17» сентября 2021 г. № 15

о присуждении Тимофееву Константину Леонидовичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Сорбционное извлечение цветных и редких металлов из промышленных растворов горно-металлургических предприятий» по специальности 2.6.2 – Metallургия черных, цветных и редких металлов (05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов) принята к защите диссертационным советом УрФУ 05.08.19 «28» июня 2021 г., протокол № 14.

Соискатель, Тимофеев Константин Леонидович, 1987 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Сорбция тяжелых металлов из стоков горно-металлургических предприятий» защитил в 2013 г. в диссертационном совете, созданном на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»;

работает в должности начальника технического отдела инженерно-производственного управления АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма Свердловской обл.

Диссертация выполнена на кафедре «Metallургия цветных металлов» Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России и в Акционерном обществе «Уралэлектромедь».

Научный консультант – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Мальцев Геннадий Иванович, АО «Уралэлектромедь», Исследовательский центр, главный специалист.

Официальные оппоненты:

Ямщиков Леонид Федорович – доктор химических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, кафедра редких металлов и наноматериалов, профессор;

Орехова Наталья Николаевна – доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения, профессор;

Сабирзянов Наиль Аделевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, лаборатория химии гетерогенных процессов, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 32 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 32 работы, из них 19 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 13 статей – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS; 3 патента РФ на изобретение; 4 монографии в соавторстве. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 97,13 п.л., авторский вклад – 47,76 п.л.

Список основных публикаций по теме диссертации:

статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ

1. Тимофеев, К.Л. Закономерности процессов сорбционного равновесия при извлечении цинка, кальция и магния из сточных вод аминокислотными амфолитами / **К.Л. Тимофеев**, С.С. Набойченко // *Металлург.* – 2013. – № 2. – С. 35–38; 0,25 п.л./0,13 п.л.

*Timofeev, K.L. Mechanism of sorption equilibrium in the recovery of zinc, calcium, and magnesium from waste water by the use of iminodiacetate resins / **K.L. Timofeev**, S.S. Naboichenko // *Metallurgist.* –2013. Volume 57, No 1–2. – P. 95–99 (Scopus, Web of Science).*

2. Тимофеев, К.Л. Кинетика сорбции цинка, кальция и магния из водных растворов аминокислотным ионитом LewatitTP 207 / **К.Л.**

Тимофеев, С.С. Набойченко, А.Б. Лебедь, Л.Ф. Акулич // Цветные металлы. – 2013. № 8. – С. 59–64; 0,38 п.л./0,19 п.л.

Timofeev, K.L. Kinetics of zinc, calcium and magnesium sorption from water solutions, using the amine-diaceticionite - Lewatit TP-207 / K.L. Timofeev, S.S. Naboychenko, A.B. Lebed, L.F. Akulich // TsvetnyeMetally. – 2013. No 8. – P. 59–64 (Scopus).

3. Свиридов, А.В. Очистка промышленных стоков алюмосиликатными сорбентами / А.В. Свиридов, Е.В. Ганебных, Г.И. Мальцев, **К.Л. Тимофеев** // Цветные металлы. – 2015. № 12. – С. 42–46; 0,32 п.л./0,05 п.л.

Sviridov, A.V. Wastewater treatment using silica-alumina sorbents/ A.V. Sviridov, E.V. Ganebnykh, G.I. Maltsev, K.L. Timofeev// Tsvetnye Metally. 2015. No 12. P. 42–46 (Scopus).

4. Тимофеев, К.Л. Извлечение индия из растворов высокодисперсными модифицированными алюмосиликатами / **К.Л. Тимофеев**, Г.И. Мальцев, А.В. Свиридов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2016. Т. 59. № 7. – С. 35–41; 0,44 п.л./0,22 п.л.

Timofeev, K. L. Extraction of indium from solutions with highly dispersed modified aluminosilicates / K.L. Timofeev, G.I. Maltsev, A.V. Sviridov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Himiya i himicheskaya tekhnologiya. – 2016 – Volume 59, No 7. – P. 35–41 (Web of Science).

5. Тимофеев, К.Л. Кинетика сорбции ионов индия, железа, цинка на модифицированном монтмориллоните / **К.Л. Тимофеев**, Г.И. Мальцев, А.В. Свиридов // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. – 2017. Т. 58. № 3. –С. 135–143; 0,53 п.л./0,27 п.л.

Timofeev, K.L. Sorption kinetics of indium, iron, and zinc ions on modified montmorillonite / K.L. Timofeev, G.I. Maltsev, A.V. Sviridov // Moscow University Chemistry Bulletin. – 2017. – Volume 72, No3. P. 128–134 (Scopus).

6 Тимофеев, К.Л. Сорбционная технология извлечения индия из растворов цинкового производства / **К.Л. Тимофеев**, Г.И. Мальцев, А.В.

Усольцев, С.С. Набойченко // Известия вузов. Цветная металлургия. –2017. № 2. – С. 43–50; 0,50 п.л./0,25 п.л.

Timofeev, K.L. Sorption technology of recovery of indium from solutions of zinc production / K.L. Timofeev, G.I. Maltsev, A.V. Usol'tsev & S. S. Naboichenko // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2017. Volume 58 – P. 225–230 (Web of Science).

7. Timofeev, K.L. Deep treatment of copper plant waste water streams with water recycling / **K.L. Timofeev**, A.B. Lebed, G.I. Maltsev // Solid State Phenomena. – 2017. Volume 265. – P. 937–944; 0,50 п.л./0,25 п.л. (*Scopus*).

8. Курдюмов, В.Р. Технология комплексной очистки шахтной воды с попутным извлечением цветных металлов / В.Р. Курдюмов, **К.Л. Тимофеев**, А.Б. Лебедь, Г.И. Мальцев // Цветные металлы. – 2017. № 12. – С. 29–33; 0,36 п.л./0,10 п.л.

Kurdiumov, V.R. Technology of integrated treatment of mine water with accompanying extraction of non-ferrous metals / V.R. Kurdiumov, K.L. Timofeev, A.B. Lebed, G.I. Maltsev // Tsvetnye Metally. – 2017. No 12. – P. 29–33 (Scopus).

9. Timofeev, K. Sorption and membrane technologies for mine water purification / **K. Timofeev**, V. Kurdiumov, G. Maltsev // Materials Science Forum. – 2019. Volume 946. – P. 621–627; 0,44 п.л./0,15 п.л. (*Scopus*).

10. Курдюмов, В.Р. Сорбция ионов никеля (II) на катионите с хелатными группами иминодиуксусной кислоты / В.Р. Курдюмов, **К.Л. Тимофеев**, Г.И. Мальцев // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2019. Т. 62. № 11. – С. 63–71; 0,56 п.л./0,15 п.л.

Kurdiumov, V.R. Sorption of nickel (II) ions by chelating resin with iminodiacetate functionality / V.R. Kurdiumov, K.L. Timofeev, G.I. Maltsev // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Khimiya I Khimicheskaya Tekhnologiya. – 2019. Volume 62, No 11. – P. 63–71 (Scopus, Web of Science).

Патенты

11. Способ очистки растворов от селена и мышьяка: пат. 2592596 Рос. Федерация: С02F 1/62 / А.А. Королёв, Д.С. Финеев, С.А. Краюхин, **К.Л.**

Тимофеев, Е.Е. Субботин, И.Л. Тутубалина; патентообладатель АО «Уралэлектромедь». № 2014153095/05; заявл. 25.12.2014; опубл. 20.07.2016. Бюл. № 21.

12. Способ селективного извлечения индия из сульфатных цинковых растворов: пат. 2635584 Рос. Федерация: С22В 58/00, С22В 3/24 / **К.Л. Тимофеев**, А.В. Свиридов, Г.И. Мальцев, В.В. Свиридов, А.В. Усольцев; патентообладатель К.Л. Тимофеев. № 2016114800; заявл. 15.04.2016; опубл. 17.10.2017. Бюл. № 29.

13. Способ комплексной очистки шахтных вод: пат. 2666859 Рос. Федерация: С02F 1/28, С02F 1/42, В01J 45/00, С02F 101/10, С02F 103/10 / А.А. Королёв, А.Т. Крестьянинов, С.А. Краюхин, **К.Л. Тимофеев**, В.А. Кочин, В.Р. Курдюмов; патентообладатель Акционерное общество «Уралэлектромедь». № 2016147246; заявл. 01.12.2016; опубл. 01.06.2018. Бюл. № 16.

Монографии

14. Мальцев Геннадий. Кондиционирование стоков горно-металлургических предприятий / Геннадий Мальцев, **Константин Тимофеев** – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2017. – 308 с. ISBN:978-3-330-08164-2 (22,14 п.л./11,07 п.л.).

15. Тимофеев Константин. Выделение цветных и редких металлов из промпродуктов / **Константин Тимофеев**, Геннадий Мальцев –Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2019. –437 с. ISBN: 978-613-9-84237-7 (31,4 п.л./15,7 п.л.).

На автореферат и диссертацию поступили отзывы:

1. **Чуба Александра Васильевича**, доктора технических наук, старшего научного сотрудника ООО «Инжиниринговый центр НИУ «БелГУ», г. Белгород. Содержит вопросы о предпочтительном выборе сорбции по сравнению с экстракцией; перспективных типах сорбентов, включая отечественные, с учетом числа циклов их эксплуатации.

2. **Попова Александра Николаевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего отделом научно-методического обеспечения,

восстановления и охраны водных объектов ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург. Содержит вопросы к выбору в качестве базового сорбента смолы Lewatit TP 207; по рассмотрению преимущественно моделей мономолекулярной сорбции Ленгмюра и Фрейндлиха.

3. **Смирнова Геннадия Борисовича**, доктора технических наук, профессора кафедры технической физики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. Содержит вопросы о сопоставлении стоимости очистки воды сорбционным методом и обратным осмосом; о потенциальных потребителях очищенной шахтной воды медно-кобальтового рудника.

4. **Юрьева Юрия Леонидовича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург. Содержит вопросы о возможности и эффективности регенерации ионитов при их многократном использовании; нежелательной блокировке поверхности сорбента пленкой из солей жесткости при очистке шахтных вод.

5. **Шорикова Андрея Федоровича**, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Центра структурной политики ФГБУН Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы о перспективности использования разработанных математических моделей для управления технологическими процессами; степени готовности к внедрению разработанной технологии очистки шахтных вод.

6. **Ивановских Константина Васильевича**, кандидата физико-математических наук, заместителя директора по науке и инновациям АО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», г. Москва. Содержит вопросы о типах функциональных зависимостей, использованных при

построении математических моделей; скорости сорбции ионов жесткости и d-металлов.

7. **Калашниковой Марии Игоревны**, доктора технических наук, заведующей лабораторией гидрометаллургии ООО «Институт Гипроникель», г. Санкт-Петербург. Содержит вопросы, связанные с эффективностью ионообменных процессов в щелочных растворах; влиянием удельной поверхности сорбентов на количественные показатели сорбции; с источниками получения дополнительной товарной продукции; чистотой товарного сульфата никеля; достигнутым экономическим эффектом.

8. **Штуцы Михаила Георгиевича**, доктора технических наук, заместителя технического директора – руководителя проекта по перспективной продукции АО «Чепецкий механический завод», г. Глазов. Содержит вопросы об использовании в работе других моделей, кроме Ленгмюра и Фрейндлиха; возможности регенерации модифицированного минерального сорбента.

9. **Дмитриева Андрея Николаевича**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории пирометаллургии восстановительных процессов ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы о цели иммобилизации реагента «Метозоль»; использовании квадратичных полиномиальных зависимостей при разработке математических моделей процессов сорбции/десорбции.

10. **Булатова Константина Валерьевича**, кандидата технических наук, генерального директора, и **Жукова Владимира Петровича**, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург. Содержит вопросы об учете коэффициентов активности компонентов растворов; химических превращениях сорбционных процессов и роли внешней диффузии; механической прочности матриц органических сорбентов; принципе подбора номенклатуры исследованных сорбентов.

11. **Зайкова Юрия Павловича**, доктора химических наук, профессора, научного руководителя ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы о влиянии макрокомпонента кальция на сорбционную очистку шахтной воды от никеля, меди и марганца; отсутствии щелочной отмывки смолы после десорбции кислым раствором.

12. **Говорина Виктора Александровича**, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории гидрометаллургии АО «Иргиредмет», г. Иркутск. Содержит вопросы о кривых сорбции никеля и марганца в координатах «СОЕ – продолжительность процесса»; высоком сроке окупаемости капитальных затрат технологии очистки дренажных вод Сафьяновского месторождения.

13. **Нафталя Михаила Нафтольевича**, кандидата технических наук, заместителя директора ООО «Научно-производственное предприятие Квалитет» по металлургии и обогащению, г. Люберцы. Содержит вопросы об единицах измерения концентрации элементов в растворах; конкретизации термина «редкие металлы»; оптимизации удельных расходов реагентов и топливно-энергетических ресурсов; промышленно испытанных и внедренных технологиях.

14. **Шадруновой Ирины Владимировны**, доктора технических наук, профессора, заведующей отделом горной экологии, и **Стефунько Марии Сергеевны**, кандидата технических наук, научного сотрудника отдела горной экологии ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва. Содержит вопросы о введенных в эксплуатацию схем очистки вод; расчете эколого-экономического эффекта от предотвращения загрязнения природных водоемов.

15. **Медяник Надежды Леонидовны**, доктора технических наук, профессора, заведующей кафедрой химии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Содержит вопросы о принципе подбора сорбентов и экстрагентов; выборе

подходящего способа для селективного извлечения индия; месте цинка в представленных рядах селективности.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью и широкой известностью в области гидрометаллургических процессов цветной металлургии, в частности, в области разработки и исследования гидрометаллургических технологий извлечения цветных металлов, что подтверждается публикациями в рецензируемых российских и международных научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, позволившие уточнить физико-химические основы по сорбционному и экстракционному извлечению ионов металлов из водных сред, включая промышленные растворы, шахтные, карьерные, подотвальные сточные воды, получить новые данные о термодинамике, кинетике и механизмах процессов сорбции, адсорбции и экстракции ионов цветных и редких металлов в фазе ионообменных органических смол и на поверхности минеральных сорбентов – модифицированных монтмориллонитов, с получением экологически безопасных отходов и дополнительной высококорентабельной товарной продукции цветных и редких металлов. Разработанные технологические решения по гидрометаллургической переработке подобного поликомпонентного сырья отвечают современным требованиям охраны окружающей среды и экономической эффективности и вносят значительный вклад в социально-экономическое развитие страны.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку, наиболее значимые из которых:

– установлены ряды селективности сорбентов органических (Lewatit TP260, TP272 и TP207; Purolite S955, S984 и S930) и минеральных («Экозоль», КФГМ–7, монтмориллонит- Na^+ и $-\text{Ca}^{2+}$) к сорбтивам (In^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+});

– выявлены закономерности адсорбции простых гидратированных катионов на органических и минеральных сорбентах, заключающиеся в том, что процесс сорбции соответствует преимущественно моделям Генри, Ленгмюра и Фрейндлиха по типу «сорбент-сорбат»; для некоторых из них выявлена ступенчатая адсорбция, подобная модели Дубинина-Радускевича, что обусловлено наличием в смоле функциональных центров различной природы и адсорбционной активности, а также наличием взаимодействия «сорбат-сорбат» за счет молекулярных сил притяжения;

– определено, что сорбция катионов цветных и редких металлов на хелатных органических смолах (Purolite S955, Lewatit TP 260, Lewatit TP 272) и минеральных модифицированных сорбентах «Экозоль» и «Метозоль» лимитируется как процессами внешней и внутренней диффузии, так и химическим взаимодействием, что подтверждается адекватностью использования кинетических уравнений моделей псевдопервого и псевдовторого порядка при описании данных по сорбции катионов металлов органическими смолами и минеральными реагентами;

– разработан метод иммобилизации модифицированного монтмориллонита на поверхности инертного носителя (кварцевого песка) с использованием неионогенного флокулянта.

Научные результаты, полученные в работе, апробированы в лабораторных и опытно-промышленных масштабах. Обоснованы способы получения дополнительных количеств цветных и редких металлов, и других сопутствующих материалов в различных агрегатах при переработке промышленных растворов на основе выявленных закономерностей. Исследованы условия функционирования технологий по переработке технологических растворов, шахтных, подотвальных и иных сточных вод как источников загрязнения и других факторов антропогенного воздействия на

экосистемы Уральского региона. Оптимизированы удельные расходы реагентов и топливно-энергетических ресурсов для уменьшения влияния техногенной нагрузки на окружающую среду. Разработаны и опробованы в режиме реальной эксплуатации новые технологии для последующего получения цветных и редких металлов, попутно образующейся дополнительной товарной продукции.

Результаты выполненных исследований использованы в проектных решениях по модернизации технологии производства и при разработке технологических регламентов получения никеля, меди, цинка, индия на предприятиях ОАО «Уральская горно-металлургическая компания», г. Верхняя Пышма, обеспечивая решение важной народно-хозяйственной задачи – расширение сырьевой базы цветной металлургии с ожидаемым экономическим эффектом свыше 60 млн руб/год и эколого-экономическим эффектом от предотвращения загрязнения окружающей среды, в частности водоемов, несколько сотен (~ n * 100) млн руб/год.

На заседании 17 сентября 2021 г. диссертационный совет УрФУ 2.6.03.08 принял решение присудить Тимофееву К.Л. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 2.6.03.08 в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

УрФУ 2.6.03.08

Набойченко Станислав Степанович

Ученый секретарь

диссертационного совета

УрФУ 2.6.03.08

Шопперт Андрей Андреевич

17.09.2021 г.