

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.03
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27.12.2021 № 31

О присуждении Игнатовичу Александру Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Извлечение меди и рения из растворов аммиачного выщелачивания медных некондиционных концентратов» по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 20.10.2021, протокол заседания № 30 диссертационным советом ГУ 212.224.03 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Горного университета о создании диссертационного совета от 25.06.2019 № 836 адм с изменениями от 25.11.2019 № 1605 адм, от 08.12.2020 № 1775 адм, от 05.02.2021 № 178 адм, от 21.04.2021 № 788 адм, от 30.06.2021 №1307, от 12.07.2021 № 1382 адм.

Соискатель, Игнатович Александр Сергеевич, 22 ноября 1993 года рождения в 2017 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 18.04.01 – Химическая технология. С 2017 года по 2021 год являлся аспирантом кафедры физической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре физической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **Луцкий Денис Сергеевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра физической химии, доцент.

Официальные оппоненты:

Суходолов Николай Геннадьевич, доктор химических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра коллоидной химии, доцент;

Серебряков Максим Александрович, кандидат технических наук, публичное акционерное общество «Северсталь», ведущий эксперт; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**, г. Екатеринбург в своем положительном отзыве, подписанном Рычковым Владимиром Николаевичем доктором химических наук, профессором, заведующим кафедрой редких металлов и наноматериалов и Титовой Светланой Михайловной кандидатом технических наук, ассистентом той же кафедры и утвержденным Германенко Александром Викторовичем, проректором по науке, указала, что тема диссертационной работы актуальна, так как направлена на разработку технических решений, обеспечивающих вовлечение некондиционных медных концентратов, что предполагает сокращение шлаковых отходов и попутное получение меди и соединений рения.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, в том числе в 2 статьях - в изданиях из

перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК, в 1 статье - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Подана 1 заявка на патент.

Общий объем – 2,13 печатных листа, в том числе 1,23 печатных листа - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Игнатович, А.С. Определение кинетических параметров извлечения рения анионитами из аммиачных растворов выщелачивания некондиционного сырья / А.С. Игнатович, Р.Р. Хисматуллин, М.А. Зубакина // Естественные и технические науки. – 2021 – №8 (159) – С.174-178

Соискателем проведен литературный обзор и экспериментальные исследования по извлечению перренат-ионов из раствора.

2. Луцкий, Д.С. Исследование экстракции меди из растворов аммиачного выщелачивания шлаков медеплавильного производства / Д.С. Луцкий, А.С. Игнатович, Р.Р. Хисматуллин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия» – 2021 – № 3(Т.21) – С. 82–87

Соискателем проведен литературный обзор и экспериментальные исследования по экстракционному извлечению меди из растворов.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Lutskiy, D.S. Determination of the sorption characteristics of ammonium perrenate ions on anion exchange resin AV-17-8 / D.S. Lutskiy, A.S. Ignatovich, M.A. Sulimova // Journal of Physics: Conference Series – 2019. – 1399 (5). – №055069. – DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055069

Луцкий, Д.С. Определение сорбционных характеристик перренат-

ионов аммония на анионообменной смоле АВ-17-8 / Д.С. Луцкий, А.С. Игнатович, М.А. Сулимова // Физический журнал: Серия конференций. – 2019. – 1399 (5). – №055069. – DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055069

Соискателем проведен литературный обзор и экспериментальные исследования по извлечению перренат-ионов из раствора.

Публикации в прочих изданиях:

4. Луцкий, Д.С. Анализ способов определения концентрации рения в сложных гетерогенных и гомогенных системах / Д.С. Луцкий, А.С. Игнатович, Р.Р. Хисматуллин // Научные исследования – 2018. – №4(24). – С.8-11.

Соискателем проведен обзор методик определения концентраций рения.

5. Ignatovich, A. Extraction of copper and silver from ammoniacal leaching solutions of copper smelting slag / A.S. Ignatovich // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg, Germany: IUR Office, 2018. – Volume 1. – P.203-209

Игнатович, А.С. Извлечение меди и серебра из растворов аммиачного выщелачивания медеплавильного шлака / А.С. Игнатович // Научные доклады по вопросам ресурсов. – Фрайберг, Германия: Офис IUR, 2018. – Том 1. – С.203-209

Соискателем проведен литературный обзор, эксперимент по экстракции в условиях аммиачных сред, его обработка и анализ.

6. Луцкий, Д.С. Особенности фотометрического определения содержания рения в растворах сложного состава / Д.С. Луцкий, А.С. Игнатович, Р.Р. Хисматуллин // Научные исследования – 2019. – №3(29). – С.4-7.

Соискателем проведена серия экспериментов по количественному определению рения в растворах, модернизирована методика анализа.

7. Ignatovich, A.S. Extraction of rhenium from ammoniacal leaching solutions of copper smelting slag and model solutions / A.S. Ignatovich,

D.S. Lutskiy, R.R. Khismatullin // Journal of mining and geological sciences. – 2019 – 62(2) – P.129-131

Игнатович, А.С. Извлечение рения из растворов аммиачного выщелачивания медеплавильного шлака и модельных растворов / А.С. Игнатович, Д.С. Луцкий, Р.Р. Хисматуллин // Журнал горных и геологических наук. – 2019 – 62(2) – С.129-131

Соискателем проведен эксперимент по сорбции рения на анионите в аммиачной среде, обработаны и проанализированы результаты эксперимента.

Патенты:

1. Заявка на изобретение «Способ экстракционного извлечения меди из растворов аммиачного выщелачивания шлаков медеплавильных производств» / А.С. Игнатович, Д.С. Луцкий. Регистрационный номер 2021109710 от 08.04.2021 г.; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Соискателем проведено экспериментальное исследование экстракции меди из растворов аммиачного выщелачивания.

Апробация работы проведена на следующих конкурсах и конференциях: 58 Konferencija Studenckich Kol Naukowych Pionu Gorniczego 7 grudnia (г. Краков, Польша, 2017 г.), 12 Freiberg – St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler (г. Фрайберг, Германия, 2018 г.); 62 International scientific conference 2019, University of mining and geology «St. Ivan Rilski» (г. София, Болгария, 2019 г.), XXVIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (г. Москва, 2021 г.).

В диссертации Игнатовича А.С. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **С.А. Якорнова**, к.т.н., зам. технического директора по металлургии – начальника управления стратегического планирования ОАО «Уральская горно-металлургическая компания»; **С.В. Жукова**, к.т.н., заместителя руководителя НИЦ АО «Группа Компаний «Русредмет»; **А.Ю. Спыну**, к.т.н., ведущего инженера технологического отдела АО «Полиметалл Инжиниринг»; **С.Ю. Полежаева**, к.т.н., старшего научного сотрудника ООО «НИЦ «Гидрометаллургия»; **М.В. Успенской**, д.т.н., профессора Центра химической инженерии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, большая практическая значимость работы и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд вопросов и замечаний:

- Будет ли соответствовать качество сульфата аммония требованиям, предъявляемым к азотно-сульфатным удобрениям, и будет ли иметь такой продукт сбыт? (**к.т.н. С.А. Якорнов**);
- Будет ли соответствовать качество перрената аммония «каталитической чистоте»? (**к.т.н. С.А. Якорнов**);
- Учтены ли в расчетах экономической эффективности предлагаемой технологии затраты на утилизацию остатка после окислительного аммиачного выщелачивания некондиционного медного концентрата? Если нет, то как они учитываются? (**к.т.н. С.А. Якорнов**);
- Проводились ли укрупненные испытания предлагаемой технологии с полным оборотом аммиачных растворов? (**к.т.н. С.А. Якорнов**);

- Текущая стоимость перрената аммония «каталитической чистоты» на LME составляет 890 USD/кг, при заложенной в экономических расчетах его стоимости ~14580 USD/кг. С учетом этой цены предложенная технология становится экономически неэффективной. (к.т.н. С.А. Якорнов);
- Из текста автореферата не ясно чем обусловлен выбор применяемых ионитов для изучения сорбции перренат-ионов, а также выбор экстрагента для извлечения меди (к.т.н. С.В. Жуков);
- В качестве разбавителя экстрагента предложено использовать керосин, чем обусловлен данный выбор разбавителя? (к.т.н. С.В. Жуков);
- В автореферате отсутствуют технологические режимы проведения процессов выщелачивания, сорбции, экстракции и других операций технологической схемы. (к.т.н. С.В. Жуков);
- Проводилась ли оценка потерь экстрагента с водной фазой в процессах экстракции и реэкстракции? (к.т.н. С.В. Жуков);
- В схеме материальных потоков (Рисунок 6) отсутствует дальнейшая переработка десорбата рения. (к.т.н. С.В. Жуков);
- Для какого сырья помимо некондиционных медных концентратов применима разработанная технология? Приведите примеры потенциального сырья для представленной технологии на территории России. (к.т.н. А.Ю. Спыну);
- При переработке медного сырья по технологии жидкостная экстракция-электроэкстракция раствор серной кислоты обращается между стадиями реэкстракции и электроэкстракции меди. Автор диссертации предлагает отличную от описанной выше технологию. Какие недостатки и достоинства решения, предложенного автором? (к.т.н. А.Ю. Спыну);
- Автором установлено, что лимитирующей стадией процесса сорбции является внутренняя диффузия. Можно ли интенсифицировать процесс сорбции перренат-ионов и есть ли в этом необходимость? (к.т.н. А.Ю. Спыну);

- Проводилось ли определение эффективности выбранных сорбентов в кислом диапазоне рН? (к.т.н. С.Ю. Полежаев);
- На основании каких параметров выбран LIX-84 из прочего ряда оксимов? (к.т.н. С.Ю. Полежаев);
- В диссертации делается большой упор на извлечение рения, однако, согласно предложенному технологическому решению, прибыль от его извлечения значительно ниже прибыли от извлечения меди. С чем связана подобная расстановка акцентов? (к.т.н. С.Ю. Полежаев);
- Чем обоснован выбор цементации как способа выделения серебра? Нет ли более рациональных способов его селективного извлечения? (к.т.н. С.Ю. Полежаев);
- В диссертационной работе на стр. 14 автор делает акцент на мотивацию вовлечения вторичного сырья в переработку из-за высокой нагрузки на окружающую среду и наложения штрафов на предприятие за складирование отвалов и загрязнение окружающей среды. На сколько более экологически выгодной будет являться предлагаемая автором технология переработки низкокачественного сырья и на сколько предприятие сможет снизить нагрузку на окружающую среду при введении новых разработанных автором процессов извлечения и выделения из растворов меди, рения и серебра? (д.т.н. М.В. Успенская);
- Автор описывает большое количество месторождений руд в России: на Урале, в восточной Сибири и на Северном Кавказе. В России месторождения рения, относящиеся к легкодоступным, отсутствуют, в связи с чем отсутствует и производство рения. За основу работы автором взяты данные растворов аммиачного выщелачивания шлаков медного металлургического производства Джезказганского месторождения, расположенного в Казахстане. На каких предприятиях в Российской Федерации возможно введение предлагаемой автором технологии по извлечению и меди, и рения из растворов гидрометаллургического

выщелачивания в качестве дополнительного цикла, не требующего значительных изменений в производственном цикле? Рассматривал ли автор возможность попытки извлечения рения из первого в России открытого месторождения вулкана Кудрявый на о. Итуруп Сахалинской области России? (д.т.н. М.В. Успенская).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертации и их компетентностью в области теории и практики экстракции и сорбции металлов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция селективного извлечения меди и рения из растворов аммиачного выщелачивания некондиционных концентратов;

предложен оригинальный подход, связанный с выбором аммиачных растворов для извлечения меди и рения из некондиционных медных концентратов;

доказана перспективность использования комбинированного экстракционно-сорбционного извлечения и разделения меди и рения, основанного на различии кислотно-основных свойств элементов, при разработке технических решений, обеспечивающих эффективное извлечение ценных компонентов, и в перспективе расширения ресурсной базы;

введены новые технологические принципы комплексной переработки некондиционных медных концентратов, основанные на последовательном извлечении ценных компонентов непосредственно из аммиачных сред с организацией рециклинга аммиачных растворов;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны теоретические предположения о лимитирующей стадии процесса сорбции перренат-ионов из аммиачных растворов на анионитах АВ-17-8, Purolite PPA100 и Purolite A103 Plus и о лимитирующей стадии

процесса экстракции аммиаков меди из аммиачных растворов экстрагентом LIX84-I.

использован комплекс существующих базовых методов исследования гетерогенных реакций сорбции и экстракции, в том числе анализа состава растворов с применением РФА-спектрометра Epsilon 3 и спектрофотометра UNICO 2100.

изложены теоретические положения, обосновывающие выбор сорбентов и экстрагентов для извлечения меди и рения из аммиачных сред;

раскрыты кинетические закономерности процессов сорбции перренат-ионов и экстракции аммиаков меди из аммиачных растворов;

изучены ионообменные свойства анионитов АВ-17-8, Purolite PPA100 и Purolite A103 Plus при извлечении перренат-ионов из аммиачных растворов, а также экстракционные свойства LIX84-I при извлечении аммиаков меди из аммиачных растворов;

проведена модернизация методики фотометрического определения рения, включающая стадию центрифугирования, которая позволяет повысить точность определения при малых концентрациях рения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены на лабораторном уровне технические решения, обеспечивающие селективное извлечение меди и рения из аммиачных растворов;

определена последовательность технологических операций для извлечения меди и рения из аммиачных растворов при гидрометаллургической переработке медного сырья;

создана система практических рекомендаций по реализации технологических принципов переработки некондиционных медных концентратов;

представлены методические рекомендации и предложения для переработки растворов после аммиачного выщелачивания медьсодержащего

минерального сырья, включающие селективное выделение меди и рения с использованием методов сорбции и экстракции.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, с применением методов и методик, рекомендуемых ГОСТ для анализа состава медного сырья и продуктов его переработки; результаты экспериментов статистически достоверны, погрешность косвенных определений не превышает 0,5 %; воспроизводимость результатов исследования доказана при выполнении исследовательских испытаний в укрупненно-лабораторном масштабе по единым методикам и инструкциям.

теоретические положения, являющиеся основой экспериментальных исследований, построены на известных, проверяемых источниках, подтверждаются полученными опытными данными и не противоречат результатам аналогичных экспериментальных и теоретических исследований, описанным в литературе, в том числе по смежным областям;

идея базируется на обобщении передового опыта переработки различных видов медного сырья с последующим созданием оригинальных технических решений;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике с указанием источников, которые служили аналогами при создании авторских подходов и технических решений, направленных на комплексную переработку медного сырья;

установлено соответствие авторских результатов современным принципам реализации гидрометаллургических схем переработки минерального сырья, в том числе применительно к медным рудам и рудным концентратам;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, с применением методов математического моделирования при

помощи специализированного программного продукта Outotec HCS Chemistry.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели, формулировке задач и разработке методики исследований; в проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; выполнении лабораторных исследований и разработке технических решений, адаптированных к условиям действующих производств меди; научном обобщении результатов, их публикации и апробации.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания, не снижающие ценности диссертационной работы и направленные на дальнейшее развитие исследований. Соискатель ответил на высказанные замечания и привел собственную аргументацию.

Соискатель Игнатович А.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 27 декабря 2021 диссертационный совет принял решение присудить Игнатовичу А.С. ученую степень кандидата технических наук за решение актуальной научной задачи вовлечения в переработку некондиционного медного сырья с попутным извлечением редких и благородных металлов из аммиачных растворов медного производства.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за 14, против нет, ~~недействительных бюллетеней нет.~~



Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

27.12.2021

Сизяков Виктор Михайлович

Бричкин Вячеслав Николаевич