

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Суходолова Николая Геннадьевича, доктора химических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертационную работу Игнатовича Александра Сергеевича «Извлечение меди и рения из растворов аммиачного выщелачивания медных некондиционных концентратов », представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

Диссертационная работа А.С. Игнатовича посвящена поиску и реализации новых способов получения металлов из нетрадиционных источников сырья, разработки новых подходов и созданию новых принципов и методов переработки сырьевых ресурсов, включая техногенное сырьё. Работа продолжает исследования в этой практически и теоретически значимой области, проводимые на кафедре физической химии Санкт-Петербургского горного университета.

*Актуальность исследования.* Известно, что накопленные объемы медьсодержащих техногенных минеральных ресурсов в России практически соответствуют объемам полезных ископаемых, поставленных на баланс месторождений. В таких условиях необходимо разрабатывать способы развития медной сырьевой базы с привлечением техногенных минеральных ресурсов, в первую очередь на основе усовершенствования существующих технологий их обогащения.

Изучение сорбционных и кинетических свойств продуктов выщелачивания медных некондиционных концентратов на сорбентах различной природы может быть положено в основу разработки комплексной технологии переработки аммиачных растворов с извлечением из них ценных компонентов таких, как рений, серебро и медь. Кроме того, переработка медных отвалов будет способствовать решению экологических проблем в регионах добычи полезных ископаемых, а выделение таких компонентов, как ренийсодержащие соединения, способствует решению проблемы импортозамещения, т.к сплавы с рением используются в современном энергетическом машиностроении и находят всё более широкое применение в самых разных отраслях промышленности. Разработка технических решений, направленных на снижение количества медьсодержащих техногенных отходов с попутным извлечением рения и серебра является, безусловно, актуальным направлением исследований.

ОТЗЫВ

ВХ. № 570 -9 от 13.12.21  
АУ УС

Научные положения, сформулированные автором, в достаточной мере раскрывают содержание основной цели диссертации, заключающейся в развитии физико-химической теории, представлений о природе сорбции неорганического аниона-лиганда на сорбентах различной природы для более полного и экономически выгодного извлечения меди и рения из растворов выщелачивания при комплексной переработке бедного природного или техногенного сырья.

*Научную новизну* работы можно характеризовать следующими наиболее важными моментами:

- обобщены и систематизированы сведения о сорбционных свойствах перренат ионов на анионоактивных сорбентах. На основе теории адсорбции Ленгмюра определены значения термодинамических констант сорбции перренат ионов и ионов меди на ряде сорбентов;

- предложена схема эффективного выделения меди и рения из растворов выщелачивания медных некондиционных концентратов.

К *теоретической значимости* диссертационной работы можно отнести получение новых термодинамических и кинетических данных для процессов сорбции – десорбции перренат-ионов, предложен способ извлечения рения сорбцией на анионообменных смолах. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований, как уже указано, имеют *практическую значимость* и непосредственно служат научной основой разработки технических решений в области извлечения меди и рения при комплексной переработке аммиачных растворов выщелачивания некондиционного медного концентрата.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обусловлены применением современных физико-химических и химических методов анализа, сходимостью теоретических и экспериментальных результатов, значимым объёмом лабораторных исследований. Исследования проводились на современном сертифицированном оборудовании

Результаты диссертационной работы освещены в 7 печатных трудах, 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 издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Подана 1 заявка на изобретение

Диссертационная работа изложена хорошим языком с использованием общепринятых терминов и определений, полученные результаты логичны и достаточно аргументированы в тексте работы. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Игнатовича А.С. *соответствует паспорту специальности* 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов по пунктам

4. Термодинамика и кинетика металлургических процессов

5. Metallургические системы и коллективное поведение в них различных элементов.

13. Гидрометаллургические процессы и агрегаты.

#### *Замечания и рекомендации*

1. В таблице 17 приведены данные аппроксимации линеаризованных изотерм сорбции. Точность дана с точностью до четвертого знака. При графическом определении такая точность маловероятна.

2. Непонятно как была выбрана длина волны при спектрофотометрическом определении перренат-иона. Для исследования была выбрана длина волны 376 нм. Но автор говорит, что при этой длине волны заметно сказывается маскирующее действие ионов меди, которое заметно уменьшается при длине волны 420 нм.

3. Необходимо пояснить, что автор подразумевает под понятием коэффициент диффузии адсорбируемого иона в сорбенте. Если это стандартное понятие, то непонятно, как при диффузии адсорбированного иона вглубь сорбента, автор применяет уравнения теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Кроме того, не корректно адсорбцию по Ленгмюру называть Гиббсовской адсорбцией.

4. При сравнении изотерм сорбции по теории Генри и Ленгмюра необходимо рассматривать более широкий интервал концентраций, т.к. при малых концентрациях уравнение Ленгмюра превращаются в уравнение Генри и ждать различий не приходится. Кроме того в исследуемом интервале концентраций на изотерме Ленгмюра не наблюдается выход на плато. Расчет параметров при таких изотермах приводит к завышенным значениям предельной адсорбции.

5. В третьем выводе сказано, что описаны термодинамические характеристики процесса сорбции. Но, в таком случае, надо было из значений констант сорбции рассчитать значения свободной энергии Гиббса. И в качестве совета хочу сказать следующее: если автор ставит задачей


исследовать термодинамические параметры адсорбции, то надо проводить сорбцию хотя бы при двух температурах. Это позволит рассчитать и другие термодинамические функции.

Высказанные замечания не снижают хорошего впечатления от работы в целом и носят рекомендательный и дискуссионный характер.

С учетом актуальности выбранного направления, научной обоснованности, оригинальности и новизны технических разработок, а также их значения для создания технологии комплексной переработки растворов аммиачного выщелачивания медных некондиционных материалов с выделением меди, рения и серебра, можно сделать вывод, что диссертация «Извлечение меди и рения из растворов аммиачного выщелачивания медных некондиционных концентратов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Игнатович Александр Сергеевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Доктор химических наук (02.00.11 – коллоидная химия),  
доцент, доцент кафедры коллоидной химии Института химии ФГБОУ  
ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Суходолов Николай Геннадьевич



Адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, ул. Университетская набережная, д. 7/9

Телефон: +7(921) 300-32-76

Адрес электронной почты: [n.sukhodolov@spbu.ru](mailto:n.sukhodolov@spbu.ru), [sng196505@mail.ru](mailto:sng196505@mail.ru)

*Суходолов Н.Г.*  
*03.12.2021*

