

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель директора по перспективным проектам  
АО «Гиредмет»



М.А. Щелконогов

«13» *Октября* 2026 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет» имени Н.П. Сажина» (АО «Гиредмет»)** на диссертационную работу Горбачевой Валентины Дмитриевны на тему: «Разработка технологии извлечения платины и палладия из низкоконцентрированных растворов аффинажа», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

#### **Актуальность темы диссертации**

Одним из наиболее значимых вопросов современного металлургического производства является переработка отходов, позволяющая решить такие технологические задачи, как увеличение извлечения ценных компонентов, сокращение капитальных и энергетических затрат, создание безотходных и малоотходных производств. Примером таких отходов могут служить низкоконцентрированные солянокислые и азотнокислые растворы аффинажа, содержащие платину и палладий. Трудность переработки таких типов растворов определяется не только их сложным многокомпонентным характером, но и низкой концентраций платины и палладия на фоне высоких содержаний цветных металлов. Важно отметить неполное извлечение и отсутствие возможности избирательного извлечения платиновых металлов из таких типов растворов при использовании осадительных методов, в то время как применение ионообменных методов показало высокий результат избирательности и извлечения платины и палладия.

Важность и актуальность заявленной соискателем темы определяется не только интересом изучения и использования низкоконцентрированных аффинажных растворов, но и решением ключевой научно-технической задачи в отношении переработки отходов металлургического производства с получением полезной товарной продукции.

Проведенные соискателем исследования направлены на разработку технологии извлечения платины и палладия из низкоконцентрированных солянокислых и азотнокислых растворов аффинажа, позволяющей получить товарную продукцию в виде платины и палладия аффинированных, соответствующих маркам ПЛА-2 (ГОСТ 31290-2018) и ПДА-2 (ГОСТ 31291-2018).

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Полученные в диссертационной работе научные и практические результаты следует рекомендовать к использованию на аффинажных предприятиях, занимающихся переработкой платину- и палладийсодержащего сырья (АО "Приокский завод цветных металлов", ОАО «Красцветмет»). Рекомендации, предложенные в диссертационном исследовании, будут способствовать повышению технико-экономических показателей предприятий.

## **Научная новизна исследований, полученных результатов и выводов**

1. Обнаружено увеличение извлечения платины и палладия в процессе осаждения платиновых металлов из низкоконцентрированных солянокислых и азотнокислых растворов аффинажа раствором ронгалита и тиомочевины, что обусловлено образованием комплексных соединений:  $[Pt(SCN_2H_4)_3(HOCH_2)_3]$ ,  $[Pt(SCN_2H_4)_3HOCH_2]$ ,  $[Pd(SCN_2H_4)_3HOCH_2]$ ,  $[Pt(SCN_2H_4)_4(OSO_3)_2]$ ,  $[Pd(SCN_2H_4)_3OSO_3]$ , определены условия их существования, кристаллографические и термодинамические характеристики, установлена структура этих соединений.

2. Установлено, что высокой избирательностью к платине и палладию при сорбции из низкоконцентрированных солянокислых и азотнокислых растворов аффинажа обладает слабоосновный анионит макропористой стирол-дивинилбензольной матрицы Seplite D194. Определено, что максимальная обменная ёмкость ионита D194 составляет ПДОЕ = 7,14 ммоль/дм<sup>3</sup> для платины и ПДОЕ = 5,19 ммоль/дм<sup>3</sup> для палладия реального солянокислого раствора; ПДОЕ = 18,67 ммоль/дм<sup>3</sup> для платины и ПДОЕ = 8,527 ммоль/дм<sup>3</sup> для палладия реального азотнокислого раствора.

3. По результатам кинетических исследований сорбции платины и палладия из солянокислых и азотнокислых растворов определено, что скорость сорбции на анионите Seplite D194 лимитируется плёночной диффузией. Установлены значения коэффициентов диффузии для платины и палладия, равные  $n \cdot (10^{-4}-10^{-5})$  см<sup>2</sup>/с, энергии активации 47-81 кДж/моль и критерия Био 0,003-0,04, характеризующие внешнедиффузионный характер сорбции.

## **Практическая значимость полученных результатов**

1. Разработана технология извлечения платины и палладия из низкоконцентрированных платинусодержащих растворов аффинажа сорбцией с применением в качестве сорбента слабоосновного анионита на макропористой стирол-дивинилбензольной матрице Seplite D194, включающая сорбцию платины и палладия, промывку 5 % раствором соляной/азотной кислоты, десорбцию палладия 2 М раствором соляной/азотной кислоты, десорбцию платины 0,11 % раствором тиомочевины и 6 М раствором соляной/азотной кислоты с последующим выделением платины и палладия из элюатов цементацией медным скрапом. На базе АО «Московский завод по обработке специальных сплавов» введена в действие технологическая инструкция № ТИ 001-2023 от 16.02.2023 г. «Технологическая инструкция по извлечению платины и палладия из маточных растворов». Аттестованной лабораторией по контролю производства АО «МЗСС» подтверждено, что полученные платина аффинированная марки ПЛА-2 и палладий аффинированный марки ПДА-2 соответствуют ГОСТ 31290-2018, ГОСТ 31291-2018.

2. Разработанная технология переработки низкоконцентрированных платинусодержащих растворов аффинажа прошла успешную апробацию на металлургическом предприятии АО «МЗСС» и обеспечила сквозное извлечение платины и палладия на уровне 90-95 % и 88-94 % соответственно, что подтверждено актом об испытании и внедрении технологии.

## Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, построены на основе применения современных методов и методик химических и физико-химических исследований, большим объемом проведенных экспериментов, математической обработкой результатов, а также полученных опытно-промышленных испытаний. Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются корректной обработкой полученных данных, применением широкого спектра современного аналитического оборудования.

### Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и семи приложений. Работа изложена на 169 страницах машинописного текста, содержит 63 таблицы, 56 рисунков и 136 библиографических источников.

**Во введении** приводится обоснование актуальности работы, формулируются цель, задачи, научная новизна и практическая значимость исследования. Приведены положения, выносимые на защиту, апробация работы, сведения о публикациях и структуре и объеме диссертации.

**В первой главе** приведены данные аналитического обзора рынка, физические и химические свойства платины и палладия, сведения о современном состоянии сырья и технологии переработки платиновых металлов. Рассмотрены теоретические основы особенностей ионного состояния платины (IV), (II) и палладия (II) в низкоконцентрированных растворах аффинажа, проанализированы существующие гидрометаллургические методы извлечения платины и палладия. Анализ существующих методов позволил определить направления исследования.

**Во второй главе** изложены сведения о методах и анализах исследований, позволяющие считать полученные результаты достоверными, а также отражены характеристики исследуемых образцов низкоконцентрированных растворов аффинажа. Приведены данные используемых в исследовании реагентов и сорбентов российского и зарубежного производства.

**В третьей главе** представлены результаты исследования по установлению возможности избирательного выделения платиновых металлов из низкоконцентрированных растворов аффинажа методом осаждения, цементации и гидролиза. При осаждении раствором ронгалита и тиомочевины обнаружено увеличение извлечения платины и палладия, обусловленное образованием фаз комплексных соединений платиновых металлов, определены условия их существования, кристаллографические и термодинамические характеристики, установлена структура этих соединений. Полученные результаты при осаждении платиновых металлов сульфидом натрия, тиосульфатом натрия, ронгалитом и тиомочевинной, а также при цементации цинком, алюминием и гидролизе показали нецелесообразность процесса переработки низкоконцентрированных растворов с большим количеством примесей, поскольку отсутствует возможность избирательного осаждения платины и палладия, образуются кеки сложного химического состава, требующие дополнительной переработки. Итоги

проведённого исследования определили необходимость разработки технологии, основанной на процессах сорбции.

**В четвёртой главе** отражены результаты работы соискателя, связанной с разработкой технологии извлечения платины и палладия ионообменными смолами из низкоконцентрированных растворов аффинажа. По результату исследования определено, что слабоосновный анионит Seplite D194 на макропористой стирол-дивинилбензольной матрице обладает высокой селективностью к платине и палладию.

Соискателем было проведено кинетическое исследование сорбции платины (IV), (II) и палладия (II) из модельных солянокислых и азотнокислых растворов на слабоосновном анионите Seplite D194, по результату которого было установлено, что скорость сорбции на анионите Seplite D194 лимитируется плёночной диффузией. Кроме того, соискателем зафиксированы значения коэффициентов диффузии для платины и палладия, равные  $n \cdot (10^{-4} - 10^{-5}) \text{ см}^2/\text{с}$ , энергии активации 47-81 кДж/моль и критерия Био 0,003-0,04, подтверждающие внешнедиффузионный характер сорбции.

Результаты исследования сорбции платины и палладия из реального солянокислого и азотнокислого растворов определили значения максимальной ёмкости ионита (для солянокислого раствора достигает ПДОЕ = 7,14 ммоль/дм<sup>3</sup> для платины, ПДОЕ = 5,19 ммоль/дм<sup>3</sup> для палладия; для азотнокислого раствора – ПДОЕ = 18,67 ммоль/дм<sup>3</sup> для платины, ПДОЕ = 8,527 ммоль/дм<sup>3</sup> для палладия), а также установили отсутствие влияния ионов цветных металлов на процесс сорбции платиновых металлов в динамических условиях и на значения максимальной ёмкости ионита.

При исследовании десорбции платины и палладия было выяснено, что наиболее эффективным элюентом для палладия является 2М раствор соляной / азотной кислоты, для платины – 6 М раствора соляной / азотной кислоты с добавлением 0,11 % раствора тиомочевины.

**Пятая глава** посвящена опытно-промышленным испытаниям, статистической обработке данных, разработке технологических схем переработки низкоконцентрированных платиносодержащих солянокислых и азотнокислых растворов аффинажа. Были определены технологические режимы процессов, построены математические модели, позволяющие описать и проанализировать влияние изменения значений независимых переменных (температура, продолжительность процесса, скорость фильтрования, рН раствора, концентрация ионов платины и палладия) на зависимую переменную ДОЕ (динамическую обменную ёмкость). В соответствии с разработанными принципиальными технологическими схемами зафиксированы значения показателей извлечения исследуемых металлов из низкоконцентрированных растворов аффинажа: для платины – не менее 90 %, для палладия – не менее 88 %, что подтверждено актом об испытании и внедрении технологии извлечения платины и палладия методом сорбции.

#### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, результаты и научные положения, которой достаточно полно опубликованы в научно-технических рецензируемых изданиях.

## Вопросы и замечания по диссертационной работе

При прочтении и обсуждении диссертационной работы возникли следующие **вопросы и замечания:**

1. В работе отсутствует оценка энерго- и ресурсоемкости предлагаемой технологии и их сопоставление с данными традиционных существующих технологий переработки маточных растворов аффинажа.
2. В диссертационной работе представлены принципиальные технологические схемы переработки низкоконцентрированных растворов аффинажа, но отмечена их универсальность. Возникает вопрос о необходимости разработки новой технологии при изменении химического состава поставляемого на аффинажное производство сырья и растворов.
3. Работа посвящена разработке технологии извлечения платины и палладия из низкоконцентрированных растворов аффинажа, но в диссертации не приведено само понятие «низкоконцентрированного раствора». Отсутствуют значения оптимальных пределов концентраций для платины и палладия для использования данной технологии на аффинажном производстве
4. В диссертационной работе соискателем приводится состав исследуемого солянокислого раствора, в котором присутствует примесь железа, однако в главе 3 на графиках зависимости степени осаждения платиновых металлов и цветных металлов (рисунки 5, 9, 16, 19, 21) отсутствует зависимость степени осаждения железа.
5. Каким образом могут быть использованы результаты экспериментальной части диссертационной работы по выделению платиновых металлов из растворов методом осаждения и цементации, если данные методы не являются эффективными?
6. Результаты оценки эффективности сорбционного извлечения платины и палладия из реальных растворов были бы более убедительны в случае приведения соискателем данных о влиянии количества циклов сорбции-десорбции на величину максимальной емкости ионита.

Несмотря на вышеуказанные замечания, оценивая работу в целом, следует отметить важность и актуальность поставленной и успешно решенной задачи. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью.

### Заключение

Диссертационная работа Горбачевой Валентины Дмитриевны «Разработка технологии извлечения платины и палладия из низкоконцентрированных растворов аффинажа» представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научно-технической задачи в области переработки низкоконцентрированных растворов аффинажного производства.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, обоснованы на современном научном уровне. Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки.

Таким образом, диссертационная работа «Разработка технологии извлечения платины и палладия из низкоконцентрированных растворов аффинажа», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС» и в полной мере удовлетворяет требованиям ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а её автор Горбачева Валентина Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании научного семинара лаборатории металлургических процессов и лаборатории по переработке техногенного сырья АО «Гиредмет» 10 апреля 2026.

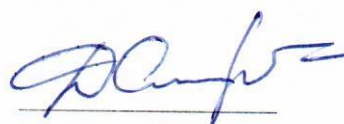
Отзыв подготовлен:

Научный руководитель лаборатории металлургических процессов АО «Гиредмет», кандидат физико-математических наук



С.А. Мельников

Начальник лаборатории переработки техногенного сырья АО «Гиредмет», кандидат технических наук



Д.И. Смирнов

Подпись С.А. Мельникова и Д.И. Смирнова удостоверяю

Ученый секретарь АО «Гиредмет»,  
Кандидат технических наук



О.В. Потемкина

10.04.2026

Сведения о ведущей организации

Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет» имени Н.П. Сагина (АО «Гиредмет»)

Юридический и фактический адрес: 111524, Москва, Электродная ул., д.2, стр. 1

Телефон: +7 (495) 708-44-66

E-mail: [info\\_giredmet@rosatom.ru](mailto:info_giredmet@rosatom.ru)