

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.307.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 06 июня 2024 г. № 282

О присуждении **Васильковой Анастасии Олеговне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка рациональной технологии извлечения золота из техногенного сырья на основе применения ультранизких концентраций цианида натрия» по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 21 марта 2024 г. (протокол заседания № 89) диссертационным советом 24.2.307.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83 (Приказ от 02.11.2012 № 714/нк о создании совета, приказ от 24.03.2021 № 256/нк о возобновлении работы совета).

Соискатель **Василькова Анастасия Олеговна**, 15 августа 1994 года рождения.

В 2016 году соискатель окончила с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический

университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ») с получением квалификации бакалавр по направлению подготовки 22.03.02 «Металлургия», в 2018 году соискатель окончила с отличием ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» магистратуру по направлению подготовки 22.04.02 «Металлургия», в декабре 2018 года поступила в аспирантуру акционерного общества «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов» на заочную форму обучения, год окончания обучения в аспирантуре – 2021, работает научным сотрудником в лаборатории гидрометаллургии акционерного общества «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов».

Диссертация выполнена в лаборатории гидрометаллургии акционерного общества «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Войлошников Григорий Иванович**, заместитель генерального директора по научно-методической и инновационной деятельности акционерного общества «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов».

Официальные оппоненты:

Шумилова Лидия Владимировна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Забайкальский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЗабГУ»), кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, профессор (г. Чита);

Лобанов Владимир Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина»), кафедра металлургии цветных металлов, доцент (г. Екатеринбург)
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург**, в своем положительном отзыве, подписанным Бажиным Владимиром Юрьевичем, доктором технических наук, профессором, кафедра металлургии, заведующим кафедрой и утвержденном Пашкевич Натальей Владимировной, доктором экономических наук, профессором, первым проректором ФГБОУ ВО «СПГУ» указала, что диссертация Васильковой А.О. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, на современном научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью для предприятий цветной металлургии, занимающихся вопросами извлечения золота от отходов горнометаллургического производства, а также переработкой медистых золотосодержащих руд. Это позволяет считать, что диссертация Васильковой А.О. соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Василькова Анастасия Олеговна – достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, в сборниках научных трудов и материалах конференций опубликовано 5 работ. Авторский вклад соискателя в научные публикации заключается в проработке известных теоретических и практических опубликованных данных по тематике диссертации, обработке результатов

эксперимента, оформлении и подготовке материалов к публикации; вклад составляет 77 %. Объем научных статей – 3,8 печатных листа.

В опубликованных работах представлены результаты лабораторных исследований, укрупненно-лабораторных и опытно-промышленных испытаний технологии цианирования при ультранизких концентрациях цианида натрия ($10\text{--}30\text{ мг/дм}^3$) лежалых и текущих хвостов обогащения полиметаллических руд, результаты опытов по изучению кинетики растворения металлических золота и меди в области ультранизких концентраций цианида натрия ($5\text{--}100\text{ мг/дм}^3$). Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значительные работы:

1. **Василькова, А.О.** Оценка возможности переработки техногенного сырья с применением ультранизких концентраций цианистого натрия / **А.О. Василькова, А.В. Бывальцев, О.Д. Хмельницкая, Г.И. Войлошников** // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020, № 5. – С. 1105–1112.

2. **Василькова, А.О.** Анализ современного состояния способов переработки техногенного сырья / **А.О. Василькова, Н.В. Васильков, О.Д. Хмельницкая, Г.И. Войлошников** // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021, № 1. – С. 97–107.

3. **Vasilkova, A.O.** Study of the basic laws of dissolution of gold and cooper in solutions with an ultra-low concentration of sodium cyanide // **A.O. Vasilkova, O.D. Khmelnitskaya, G.I. Voiloshnikov** // iPolitech Journal. – 2023, No. 2. – P. 422–435.

4. **Василькова, А.О.** Разработка технологии извлечения золота из хвостов обогащения полиметаллических руд / **А.О. Василькова, А.В. Бывальцев, О.Д. Хмельницкая, Г.И. Войлошников** // iPolitech Journal. – 2024, № 1. – С. 139–148.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Ведущая организация ФГБОУ ВО «СПГУ», г. Санкт-Петербург.

Замечания: 1) В главе 2 приведены результаты теоретических исследований кинетики процесса растворения золота и меди в растворах с ультразвуковой концентрацией цианида натрия. Как полученные результаты использованы при разработке технологии переработки хвостов обогащения II? 2) На стр. 54 в главе 2 диссертации сказано, что удельную поверхность минералов меди в процессе изучения основных закономерностей их растворения в растворах с ультразвуковой концентрацией цианида натрия определяли с помощью лазерного гранулометра фирмы Malvern Mastersizer 3000, но не приведены полученные значения. 3) На стр. 67 в главе 3 диссертации в качестве перспективного объекта для проведения дальнейших исследований автор выбирает хвосты обогащения II, хотя по результатам рационального анализа (стр. 63) извлечение золота из данного сырья наименьшее (37,4 %) против 66,7 % - из пиритных огарков, 46,5 % - из хвостов обогащения I. 4) Помимо золота в изученном техногенном сырье присутствуют цветные металлы, в частности медь и цинк (табл. 3.1, 3.2 диссертации). Насколько реальна возможность их извлечения? 5) На стр. 92 в главе 5 диссертации для обезвреживания хвостов сорбционного цианирования автором предложена противоточная декантационная отмывка с хлорированием промвод. Рассматривались ли другие методы и варианты обезвреживания? 6) Несмотря на положительные результаты технико-экономического расчета разработанной технологии (табл. 7.2 диссертации и табл. 5 автореферата), обращает на себя внимание полученное низкое извлечение золота из хвостов обогащения II (31,5–31,9 %). Существуют ли какие-либо способы повышения извлечения золота из данного сырья? 7) В тексте диссертации отсутствует единая система выражения концентрации цианида натрия: концентрация растворителя приводится в г/дм³ и в моль/дм³. 8) Имеются опечатки и пунктуационные неточности (стр. 38, 49, 58, 71, 93 диссертации).

2. Официальный оппонент Шумилова Лидия Владимировна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, профессор (г. Чита).

Замечания: 1) В чем отличие данных по кинетике растворения металлов, полученных автором в сравнении с данными ранее проведенных исследований (И.А. Каковский и др.). 2) Следует отметить сравнительно низкое извлечение золота при цианировании, достигнутое в работе. Конечно, оно подтверждено технико-экономическими расчетами, а варианты усовершенствованной технологии, в том числе с доизмельчением хвостов, оказались убыточными. Тем не менее, основное количество золота все же остается в отходах переработки по предложенной автором технологии. 3) Некоторые сомнения вызывает выбор хвостов обогащения II в качестве перспективного объекта для разработки технологии извлечения золота. Так по данным рационального (фазового) анализа табл. 3.3. (диссертация стр. 63) пиритные огарки содержат существенно больший процент золота, извлекаемого цианированием, в сравнении с хвостами обогащения медно-цинковых руд. 4) В работе не приведена концентрация кислорода в пульпе в процессе известковой обработки и цианирования. 5) Согласно принципиальной схеме переработки хвостов обогащения, полученные в процессе холодной десорбции меди элюаты с концентрацией $\text{Cu} - 46,7 \text{ мг/дм}^3$, поступают на операцию предварительного цианирования. Какая концентрация Cu будет в растворе предварительного цианирования с учетом оборота раствора?

3. Официальный оппонент Лобанов Владимир Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра металлургии цветных металлов, доцент (г. Екатеринбург).

Замечания: 1) При изучении кинетических особенностей растворения золота в растворах с ультранизкой концентрацией цианистого натрия автор допускает, что причиной затруднений может быть образование на поверхности

диска пленки $\text{Au}(\text{OH})_3$. При окислении золота кислородом золото наиболее вероятно окисляется до степени $\text{Au}(\text{I})$. Кроме того, даже при очень низких концентрациях количество циан-иона в растворе достаточно для растворения гидроксидов и образования цианистых комплексов. Имеются ли инструментальные подтверждения образования пленок $\text{Au}(\text{OH})_3$? 2) Важнейшим результатом цианирования с пониженными концентрациями NaCN является пониженный удельный расход реагента. Не исключаю, что в расчетах данного показателя допускается ошибка. Например (выводы гл.3 диссертации и в других разделах) при Ж:Т=1:1 и концентрации 30 мг/л расход цианида определен как 0,3 кг/т. Даже если весь цианид будет израсходован, без использования в обороте, расход цианида будет на порядок меньше. 3) С чем может быть связан экстремальный характер зависимости извлечения меди от продолжительности выщелачивания (рис. 4.1 диссертации)? 4) Имеется ли понимание причин низкого извлечения золота на стадии укрупненно-лабораторных испытаний? Ведь даже после бисерного измельчения извлечение золота при последующем цианировании возрастает незначимо. 5) Как влияет пониженная концентрация цианида на сорбционное извлечение золота? В частности, чем обусловлено низкое извлечения золота, достигнутое на стадии опытно-промышленных испытаний?

Отзывы на автореферат:

1. Тимофеев Константин Леонидович, доктор технических наук, начальник технического отдела инженерно-производственного управления, АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма. *Замечания:* 1) В автореферате отсутствует информация о распределении железа, серы и диоксида кремния по продуктам предложенной схемы переработки, а также состав образующихся отмытых хвостов цианирования, что затрудняет оценку их применения в качестве товарного железосодержащего сырья для черной металлургии либо возможность дальнейшего кондиционирования по химическому составу. 2) Учтены ли в расчете экономической эффективности затраты на спецскладирование отмытых хвостов цианирования и утилизацию

отработанных растворов предложенной технологии? 3) Что включает в себя показатель условной прибыли, используемый в укрупненном технико-экономическом расчете технологии?

2. Федоров Сергей Андреевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории пирометаллургии цветных металлов, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург. *Замечания:* 1) В автореферате не сформулирована теоретическая значимость работы. 2) Во второй главе приведены результаты исследований зависимости удельной скорости растворения минералов меди от способа подачи (разовая и дробная) растворов с ультранизкой концентрацией цианида натрия. Также для минералов меди проведены для сравнения эксперименты с высокой концентрацией растворителя (20.4 ммоль/л). Из автореферата неясно, проводили ли аналогичные исследования для металлических золота и меди? 3) Сравнимы ли результаты лабораторных и промышленных испытаний по извлечению золота из хвостов обогащения по предлагаемой технологии с «традиционными» способами цианирования, применяемыми на производстве, или гравитационной сепарацией? 4) Какие статьи эксплуатационных расходов учтены при расчетах ТЭО предлагаемой технологии переработки хвостов обогащения?

3. Фоменко Илья Владимирович, кандидат технических наук, генеральный директор, ООО «Научно-исследовательский центр «Гидрометаллургия», г. Санкт-Петербург. *Замечания:* 1) Проводились ли исследования кинетики растворения золота на представленных пробах техногенного сырья? 2) Чем обусловлена 8-ми часовая продолжительность в опытах по цианированию с ультранизкими концентрациями цианида представленных во второй главе? 3) Нет данных об остаточной концентрации цианида в растворе цианирования и о формах нахождения цианида в продуктивном растворе. 4) В описании проведенных опытно-промышленных работ указана концентрация NaCN 10–30 мг/л. Данная концентрация

соответствует начальной (заданной) или фактической (титруемой) концентрации цианида?

4. Миненко Владимир Геннадьевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией 4.1 и **Самусев Андрей Леонидович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем комплексного освоения недр им. Н.В. Мельникова Российской Академии наук» (ИПКОН РАН), г. Москва. *Замечания:* 1) Из автореферата (стр. 9) не совсем ясно почему, при доле цианируемого золота в пиритных огарках 66,7 % извлечение находится на уровне 42,8 %, при этом извлечение золота из хвостов обогащения (44,4 % и 33,6 %) практически равно доле цианируемого золота (46,5 % и 37,4 %)? 2) Чем можно объяснить указанное на рис. 4 снижение извлечения меди с 15 % до 8 % при увеличении продолжительности агитации?

5. Сидоров Иван Александрович, кандидат технических наук, руководитель группы внедрения технологий и оборудования, АО «НПО «РИВС», г. Санкт-Петербург. *Замечания:* 1) Из текста реферата непонятно почему пиритные огарки не стали рассматривать как перспективное сырье для дальнейшей переработки, а остановились только на хвостах флотации? 2) Предпринимались ли попытки предварительного обогащения хвостов флотации с целью сокращения материала, поступающего на цианидное выщелачивание?

6. Лихникевич Елена Германовна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник технологического отдела, федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского», г. Москва. *Замечания:* 1) В качестве замечания по оформлению отметила бы ряд технических опечаток: пропущены знаки препинания в тексте автореферата, ошибки в падежных окончаниях слов. 2) Непонятно, в каком количестве и в каких концентрациях был использован гидроксид натрия (глава 2) для предотвращения гидролиза цианистого натрия. При этом в Главе 4 для

исключения гидролиза цианида автор рекомендует известковую обработку. Не ясно, какие факторы определили выбор реагентного режима для подавления гидролиза цианида? 3) Представленная автором принципиальная схема переработки хвостов обогащения (стр. 16) характеризуется большим количеством оборотных растворов. Нет данных оценки качественно-количественных характеристик жидких стоков, сливов и промвод и их соответствия санитарным требованиям, предъявляемым к продуктам и отходам в цианистых технологиях.

7. Кушакова Лариса Борисовна, кандидат технических наук, начальник отдела металлургии и обогащения, филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный центр комплексной переработки минерального сырья Республики Казахстан» «Восточный горно-металлургический научно-исследовательский институт цветных металлов», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск. *Замечания:* 1) По данным рационального анализа доля цианидрастворимого золота в пиритном огарке составляет 66,7 %. Почему извлечение золота в тестах по выщелачиванию не превысило 42,8 %? Пиритный огарок содержит 1,8-2,3 г/т золота и представляется, что дополнительное измельчение и увеличение продолжительности выщелачивания до 16-24 часов могло быть экономически оправданным при переработке этого продукта. 2) В автореферате нет информации на каких пробах проводили тесты по выщелачиванию халькопирита, борнита, азурита. Использовались образцы чистых минералов? 3) Рассматривались ли альтернативные технологии переработки хвостов обогащения, например гравитационно-флотационные технологии, которые позволяли бы извлечь не только золото, но и цветные металлы? С точки зрения комплексности переработки сырья и экологических проблемах при хранении хвостов полиметаллических руд, вовлечение лежалых хвостов в переработку с целью извлечения в качестве ценного компонента только золота представляется не совсем правильным.

8. Гуляшинов Павел Анатольевич, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории химии и технологии природного сырья, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук», г. Улан-Удэ. *Замечания:* 1) Каковы запасы исходного сырья (лежалых хвостов и пиритных огарков)? 2) Планируется ли получение патента на изобретение? 3) По какой методике производился расчет технико-экономических показателей?

Все отзывы положительные.

В отзывах отмечены актуальность выбранной темы исследования, научная новизна работы, а также практическая значимость полученных результатов исследования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области переработки техногенного сырья и металлургии золота, наличием научных разработок, публикаций в рецензируемых изданиях по выполненным исследованиям, близким к проблеме работы соискателя, вкладом в развитие экологически чистых и малоотходных технологий переработки золотосодержащего сырья и, таким образом, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также отсутствием совместных проектов, печатных работ.

В качестве примера публикаций, близких к тематике работы соискателя, можно привести следующие работы:

1. Залесов, М.В. Разработка технических решений для повышения эффективности переработки высокомедистой золотосодержащей руды / М.В. Залесов, В.А. Григорьева, В.С. Трубилов, А.Я. Бодуэн // Горная промышленность. – 2021. – № 5. – С. 51–56. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-5-51-56>.

2. Aleksandrova, T. Selective disintegration justification based on the mineralogical and technological features of the polymetallic ores / T. Aleksandrova, N.

Nikolaeva, A. Afanasova, A. Romashev // Minerals. – 2021. – Vol. 11. – No. 1.
<https://doi.org/10.3390/min11080851>

3. Шумилова, Л.В. Альтернативные варианты подготовки техногенных отходов к выщелачиванию металлов / Л.В. Шумилова, А.Н. Хатькова, В.Г. Черкасов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 3–2. – С. 173–181.

4. Шумилова, Л.В. Извлечение золота и серебра из шихты отходов горных предприятий / Л.В. Шумилова, А.Н. Хатькова, К.К. Размахнин, М.Ф. Простакишин // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2023. – Т. 29. – № 2. – С. 79–90. <https://doi.org/10.2109/2227-9245-2023-29-2-79-90>.

5. Лобанов, В.Г. Выбор выщелачивающей системы для извлечения золота из руды месторождения «Быньговское» / В.Г. Лобанов, Р.Э. Хабибулина, О.Б. Колмачихина, О.Ю. Маковская // iPolitech Journal. – 2022. – Т. 26. – № 4. – С. 688–696. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-688-696>.

6. Лобанов, В.Г. Современные и перспективные технологии переработки медеелектролитных шламов / В.Г. Лобанов, Н.Б. Хмелев, С.Э. Польшгалов, М.М. Габидов // Цветные металлы. – 2023. – № 10. – С. 23–28. <https://doi.org/10.17580/tsm.2023.10.03>.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея использования ультранизких концентраций цианида натрия ($10\text{--}30\text{ мг/дм}^3$) для извлечения золота из техногенного сырья, **предложен** нетрадиционный подход к процессу цианирования золотомедного техногенного сырья, который обеспечит повышение селективности растворения золота и позволит существенно сократить расход растворителя, тем самым повысив рентабельность технологии, **доказана** перспективность использования нового способа цианирования техногенного сырья при использовании ультранизких концентраций цианида

натрия ($10\text{--}30\text{ мг/дм}^3$) с получением в качестве готовой продукции сплава золота лигатурного.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны научные положения о кинетике растворения золота и меди в растворах с ультранизкой концентрацией цианида натрия, определены значения констант скоростей реакций, лимитирующие стадии и энергии активации процессов растворения металлов, вносящие вклад в расширение теоретических представлений о процессе выщелачивания,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, с получением обладающих новизной результатов) использованы метод вращающегося диска для изучения кинетики растворения металлических золота и меди, метод порошков для изучения основных закономерностей растворения природных минералов меди, а также элементы статистического анализа и компьютерной обработки полученных экспериментальных данных,

изложены доказательства возможности переработки хвостов флотации полиметаллической руды с использованием ультранизких концентраций цианида натрия ($10\text{--}30\text{ мг/дм}^3$), что позволяет дополнительно извлечь $30\text{--}31\%$ золота, тем самым повысить сквозное извлечение благородного металла до $48\text{--}50\%$,

раскрыта сущность влияния дробной подачи цианида натрия в выщелачивающий раствор, применение которой снижает скорость растворения меди на $10\text{--}30\%$ в сравнении с разовой загрузкой реагента, что является положительным эффектом при цианировании золотомедного сырья с использованием ультранизких концентраций цианида натрия,

изучены кинетика растворения металлических золота и меди, а также основные закономерности растворения природных минералов меди (халькопирит, борнит, азурит) в растворах с ультранизкой концентрацией цианида натрия ($5\text{--}100\text{ мг/дм}^3$);

проведена модернизация условий протекания процесса растворения золота и меди, заключающаяся в использовании ультранизких концентраций цианида натрия, которые повышают эффективность цианирования золотомедного техногенного сырья.

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

разработана и испытана в укрупненно-лабораторном и опытно-промышленном масштабах технология извлечения золота из хвостов обогащения полиметаллических руд, обеспечивающая приемлемые показатели извлечения золота и расхода растворителя и включающая следующие основные операции: водную отмывку растворенных цветных металлов с последующей нейтрализацией кислых растворов (для лежалых хвостов), известково-воздушную обработку, предварительное и сорбционное цианирование (СIP-процесс) при концентрации NaCN 10–30 мг/дм³, отдельную десорбцию меди и золота из фазы насыщенного угля, вторичное концентрирование золота на активный уголь, электролитическое осаждение золота, плавку катодных осадков,

определены и подтверждены перспективы использования разработанной технологической схемы с использованием ультранизких концентраций цианида натрия для извлечения золота из отходов горнометаллургического производства других подотраслей цветной металлургии, а также медистых золотосодержащих руд,

создана система практических рекомендаций по снижению расхода растворителя при цианировании золотосодержащих отходов предприятий цветной металлургии и золотомедных руд,

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию технологии гидрометаллургической переработки золотомедного техногенного сырья, направленные на повышение селективности растворения золота.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты исследований подтверждаются использованием аттестованных физических (инструментальных) и физико-химических методов анализа, применением современных средств измерений, математической обработкой результатов исследований, укрупненно-лабораторными и опытно-промышленными испытаниями, что позволяет сделать вывод о достоверности полученных результатов по цианированию золотомедного техногенного сырья при ультранизких концентрациях цианида натрия,

теория построена на известных и проверенных данных и согласуется с полученными в ходе исследований экспериментальными результатами, процесса цианирования при ультранизких концентрациях цианида натрия, а также с опубликованными материалами по теме диссертационной работы;

идея базируется на основных положениях теории гидрометаллургических процессов, научном обобщении передового опыта и анализе теории и практики отечественных и зарубежных исследователей в области переработки золотомедного техногенного сырья;

использованы современные базы литературных данных по технологиям переработки золотомедного техногенного сырья, полученные ранее другими исследователями по рассматриваемой тематике, также проведено их сопоставление с результатами, полученными автором;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов исследования с результатами, представленными в научной литературе, по гидрометаллургии золота;

использованы современные методики, средства контроля и измерений, сбора и обработки исходных и экспериментальных данных: атомно-абсорбционный, атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES), спектральный атомно-эмиссионный, рентгенофлуоресцентный, рентгеноструктурный, гравиметрический, фотометрический, титриметрический и потенциометрический методы анализа.

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа литературных и патентных источников; составлении аналитического обзора, постановке цели и задач исследований; выполнении экспериментов по изучению кинетики растворения металлических золота и меди в растворах с ультранизкой концентрацией лиганда; изучении основных закономерностей растворения природных минералов меди, таких как халькопирит, борнит и азурит в растворах с ультранизкой концентрацией цианида натрия; планировании и проведении лабораторных, укрупненно-лабораторных и опытно-промышленных испытаний технологии переработки хвостов флотации, анализе и обобщении полученных результатов, выполнении расчетов, формулировке выводов, а также в подготовке публикаций, написании статей и апробации материалов по теме диссертации на конференциях различного уровня.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания, касающиеся выбора перспективного объекта для разработки технологии переработки техногенного сырья с использованием ультранизких концентраций цианида натрия; достигнутого низкого извлечения золота из пиритных огарков и хвостов обогащения I и II в процессе цианирования при использовании ультранизких концентраций цианида натрия по сравнению с долей цианируемого золота по данным рационального анализа; отсутствия данных о возможности извлечения, помимо золота, цветных металлов из хвостов обогащения, что повысило бы комплексность использования данного сырья.

Соискатель Василькова Анастасия Олеговна подробно ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и аргументированно пояснила, что использование ультранизких концентраций цианида натрия эффективно для всех изученных объектов, однако, по причине значительных запасов, а также в связи с тематикой работ, выполняемых в АО «Иригиредмет», в качестве объекта для разработки технологии были выбраны хвосты обогащения II. Также соискатель дала объяснение, что доля извлекаемого простым цианированием золота по результатам рационального анализа выше, так как его проводили на пробах, измельченных до крупности 95 % класса минус 71

мкм, а цианированию при ультранизких концентрациях цианида натрия подвергали пробы исходной крупности. Соискатель Василькова Анастасия Олеговна привела аргументацию на высказанные замечания об отсутствии данных о возможности извлечения цветных металлов и серебра из хвостов обогащения II, что связано с их низкой долей относительной ценности, которая составила 28,0 %, в то время как ценность золота составляет 72 %.

На заседании 06 июня 2024 г. диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технологические разработки, направленные на решение проблем переработки техногенного золотомедного сырья, что имеет существенное значение для развития металлургической отрасли страны, присудить Васильковой А.О. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **20** человек, из них **7** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **25** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **20**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Председательствующий на заседании
диссертационного совета, заместитель
председателя диссертационного совета,
д.т.н., профессор



Пономарев
Борис Борисович

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.т.н., доцент

Вулых Николай
Валерьевич

Дата оформления заключения 07 июня 2024 г.