

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Захарьяна Семена Владимировича «Исследование и разработка гидрометаллургической технологии переработки бедного медно-сульфидного сырья Жезказганского региона с извлечением меди и сопутствующих ценных компонентов сорбционным методом», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

**Актуальность проблемы исследования** обусловлена теоретическим обоснованием и практическим вовлечением в гидрометаллургическую переработку некоторых видов бедного забалансового техногенного сырья Жезказганского региона для извлечения меди и редких металлов посредством селективной сорбции из технологических растворов, что кроме расширения минерально-сырьевой базы также способствует снижению антропогенной нагрузки на окружающие экосистемы. Внедрение в производственную практику разработанных технологий способствует решению важнейшей социально-экономической задачи, а именно: продление сроков эксплуатации рудников Жезказганского месторождения с сохранением объемов производства и рабочих мест.

### **Структура и анализ работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, 6 приложений, списка литературы из 323 наименований использованных источников отечественных и зарубежных авторов. Работа изложена на 362 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка и 63 таблицы.

*Во введении* обоснована актуальность и определена степень разработанности проблемы исследования, идентифицированы объекты и предметы научного поиска, указана цель и установлены задачи работы, дана оценка научной новизны, подтверждена теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения.

В первой главе охарактеризована методологическая база выполненных исследований в статическом и динамическом режимах, дана оценка достоверности полученных результатов, приведена характеристика использованных в работе ионитов.

Во второй главе содержатся сведения о процессах кислотного выщелачивания медьсодержащего сырья, результатом которого являются растворы, пригодные для ионообменной переработки. Выполнен аналитический обзор литературы по основным методам выщелачивания меди из различного медьсодержащего сырья. Показано, что наиболее эффективной по технико-экономическим показателям является гидрометаллургическая технология, основанная на использовании ионообменных (экстракционных или сорбционных) методов извлечения меди из сернокислых растворов с последующим направлением кислого реэкстракта или элюата на электролиз для получения катодной меди. Степень извлечения целевого компонента в раствор при выщелачивании определяется теми же факторами, что и скорость процесса: при заданном времени выщелачивания степень перехода металла в раствор зависит от концентрации реагента, температуры, тонины помола сырья и интенсивности перемешивания. Для проведения исследований по выщелачиванию был использован объединенный черновой концентрат состава, %: 7–9 Cu; 4–8 Fe; 3–4 S; 0,02–0,05 Zn; 8–10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 55–60 SiO<sub>2</sub>; 3–6 CaO; 0,1–0,3 Pb; 0,6–0,9 Mg; 90–170 г/т Ag; 6–7,5 Re.

Условия проведения экспериментов предусматривали исследование широкого диапазона основных параметров, таких как расход азотной кислоты, отношение Ж:Т (оптимальное 4:1), температура (оптимальная 90 °С), продолжительность выщелачивания (оптимальная 60 мин), расход хлорида натрия. Показано, что концентрация хлорида натрия в наибольшей степени влияет на извлечение серебра и железа в раствор, что очевидно, связано с улучшением процесса хлорирования при более высоких показателях концентрации хлор-иона в растворе. В результате, с увеличением расхода хлорида натрия до 30 г/дм<sup>3</sup> происходит повышение извлечения серебра в

раствор (с 88 до 92 %), но при дальнейшем добавлении хлорида натрия извлечение серебра не меняется. Определена оптимальная концентрация азотной кислоты – 2,67 г-экв/дм<sup>3</sup>, при этом извлечение компонентов в раствор составило, %: 99 медь; 97 серебро; 71 железо.

В третьей главе изучены закономерности сорбции меди, рения и серебра. Приведены результаты влияния рН сернокислого раствора на межфазное распределение меди(II) комплексообразующими ионитами Lewatit TP220, Lewatit TP209, Puromet MTS9300. Показано, что зависимость коэффициента распределения меди(II) от значения рН равновесной водной фазы при сорбции ионитом Lewatit TP209 имеет экстремальный характер – коэффициент распределения достигает максимального значения ( $D = 31$ ) при рН  $\sim 2,5$ . При рН  $\sim 3$  коэффициент распределения уменьшается незначительно, хотя концентрация ионов водорода изменяется в 700-800 раз, что было бы невозможным в случае участия в процессе сорбции ионов водорода и, по-видимому, объясняется изменением коэффициентов активности присутствующих в растворе катионов. Следовательно, в этом диапазоне рН доминирующие катионы меди(II) переходят в фазу ионита без заметной протонизации. Уменьшение коэффициента распределения меди при понижении рН справа от максимума обусловлено в основном тем, что ионы водорода становятся одним из продуктов реакции поглощения меди, и увеличение их концентрации препятствуют протеканию процесса сорбции. Дополнительным фактором, снижающим коэффициент распределения меди(II), является сверх-стехиометрическая сорбция серной кислоты (или другой минеральной кислоты), начинающаяся при рН $\sim 2$ . Подобная зависимость  $D$  от рН наблюдается для ионита Puromet MTS9300 с аналогичными функциональными группами тиомочевины.

Рассмотрение изотерм сорбции рения из модельных и различных производственных систем показало, что значение коэффициента распределения  $D_{Re}$  – постоянная величина как для промывной кислоты Балхашского комбината (БГМК), так и для растворов Жезказганского завода (ЖМЗ).

Постоянство значений  $D$  определено в широком диапазоне концентрации рения в равновесном растворе ЖМЗ – от индикаторных концентраций до исходных содержаний рения. Величины коэффициентов распределения для БГМК в 5 раз превышают значения  $D$  для ЖМЗ, что можно объяснить более высоким содержанием избыточной кислотности (почти в 2 раза) в ЖМЗ растворе. В этом случае ионы водорода становятся одним из продуктов реакции, и увеличение их концентрации препятствует протеканию процесса. Дополнительным фактором, снижающим величину  $D_{Re}$  с увеличением кислотности, является сверх-стехиометрическая сорбция серной кислоты, которая протекает в исследованных системах на макропористом низкоосновном анионите Purolite A170.

Для извлечения серебра из технологических растворов азотнокислого выщелачивания медно-сульфидного концентрата состава, г/дм<sup>3</sup>: 8,2 Cu; 0,001 Fe; 0,245 Zn; 0,36 Pb; 0,119 Ag; 8,5 NO<sub>3</sub>-ион; 36,4 Cl-ион; 62,6 SO<sub>4</sub>-ион; pH<sub>исх.</sub> ~3, исследованы комплексообразующие иониты. Показано, что наибольшие значения сорбционной емкости у ионитов с тиомочевинными функциональными группами (Lewatit TP214; Puromet MTS910). При равновесной концентрации серебра 0,001 г/дм<sup>3</sup>, емкость насыщения у ионитов (~20 мг/г), предполагает отрицательную кривизну изотермы сорбции на начальных участках равновесных кривых распределения. Иными словами, выпуклая форма изотермы сорбции является гарантией того, что содержание серебра в сбросах динамики (или статики) сорбции будет низким, а извлечение серебра в смолу из продуктивного раствора будет поддерживаться на высоком уровне. Коэффициенты распределения серебра между раствором и ионитом достаточно высоки, что является дополнительным подтверждением высокой селективности исследованных смол комплексообразующего типа, особенно с группами тиомочевины, к анионным хлорокомплексам серебра.

Исследована зависимость степени насыщения сульфокатионита Lewatit SP112 макропористой структуры в различных ионных формах при сорбции меди(II). Значения коэффициентов диффузии меди(II) при использовании

водородной и натриевой форм катионита составили соответственно  $D = 0,52 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$  и  $D = 0,08 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$ : скорость сорбции меди(II) на водородной форме сульфокатионита Lewatit SP112 в 7 раз выше, чем для натриевой формы, что можно объяснить различиями в подвижностях обменивающихся ионов.

Исследования кинетики сорбции рения анионитом Purolite A170 изопористой структуры, проведенные как на модельных, так и на технологическом растворах, показали следующее: в растворах с высокой концентрацией рения стадией, определяющей скорость сорбции, является внутридиффузионная кинетика вплоть до концентрации рения 0,007–0,008 г/дм<sup>3</sup>; последующее снижение концентрации рения меняет механизм сорбции на смешаннодиффузионный.

В четвертой главе рассмотрены десорбционные процессы ионитов, насыщенных медью, рением, серебром.

При десорбции меди (II) с хелатных смол кислотой установлено:

– наличие зависимости глубины десорбции меди (II) с ионита Lewatit TP 209XL в статике, насыщенного из сернокислого раствора, от зернения сорбента (0,6-0,7 и 0,053 мм);

– кинетика десорбции раствором 3-н. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в динамическом режиме с ионита Purolite MTS9300 и значения коэффициентов диффузии меди в зависимости от зернения ионита с иминодиацетатными группами.

Смола Lewatit TP 209XL в измельченном виде характеризуется более глубокой степенью десорбции меди (извлечение меди в элюаты 1-й стадии десорбции 91,3 и 96,7 %, соответственно, в зерненом и измельченном видах; содержание меди в элюатах 2-й стадии десорбции 0,53 и 0,18 г/дм<sup>3</sup> соответственно, а остаточная емкость зерненого и измельченного ионита по меди 0,045 и 0,013 %, соответственно).

В начальный период времени скорость десорбции меди(II) сернокислым раствором лимитируется внутридиффузионной кинетикой. Значения температурных коэффициентов (1,4-1,5) и «кажущихся» энергий активации (~12 кДж/моль) характерны для диффузионных процессов. В условиях проведенных опытов на суммарную скорость процесса определенное влияние оказывает химическая кинетика. Отмечена

сравнительная близость величин коэффициентов внутренней диффузии для иона меди (II), полученных опытным путем на операциях сорбции и сернокислой десорбции, соответственно  $(0,56-1,2) \cdot 10^{-8}$  и  $(1,4-1,5) \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>/сек.

При десорбции рения степень извлечения 98,5–99,0 %, при скоростной десорбции наступает за 3 удельных объема, а при традиционной – за 6 об./об. ионита в час. Продолжительность десорбционного цикла, состоящая в достижении степени извлечения рения из ионита в элюат, равного 98,5–99,0 %, достигается в скоростном процессе за 25–30 минут, при традиционном – за 180 минут. Иными словами, скоростной метод десорбции рения с насыщенного анионита Puromet MTA1701 сокращает продолжительность десорбционного цикла более чем в 6 раз.

Выявлена зависимость степени десорбции серебра с насыщенного ионита сернокислым раствором тиомочевины с различной концентрацией. В качестве объекта исследования выбран промышленный ионит Lewatit TP214 с тиомочевинными функциональными группами. В качестве десорбента использовался сернокислый (0,4 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) раствор с различным содержанием тиомочевины. Пропускали 12 у.о. с объемной скоростью 1 час<sup>-1</sup>. Остаточное содержание серебра определяли путем растворения навески ионита известного веса в смеси серной и хлорной кислот при повышенной температуре. После полного растворения раствор направлялся на анализ методом ИСР.

*В пятой главе* представлены укрупненно-лабораторные испытания по разработке технологической схемы переработки черновых концентратов из обедненного медно-сульфидного сырья с извлечением ценных компонентов методами сорбции промышленными ионитами.

Испытания проведены на черновом концентрате, в процессе выщелачивания которого с предварительной механоактивацией, получен продуктивный раствор и отвальный кек. Последовательность извлечения ценных компонентов из продуктивного раствора (сначала рений, затем серебро и после этого – медь) можно обосновать солевым составом продуктивного раствора и селективностью рекомендованных смол по отношению к извлекаемым компонентам – Puromet MTA1701 и Lewatit K3375.

В двухстадийной технологии переработки растворов рения со смолой обычного

зернения элюат первой стадии направляется на сорбционное концентрирование, а аммиачный элюат второй стадии – на получение товарной продукции – перрената аммония. Аммиачная скоростная десорбция рения с зерненого анионита на стадии после сорбционного концентрирования проходит в течение 30 мин с получением элюата-2 (концентрация рения не должна превышать больше, чем 20–25 г/дм<sup>3</sup> из-за возможности выпадения кристаллов в фазе смолы), направляемого на упаривание. После этого очищенный элюат упаривается с получением черновой соли рения (чернового перрената аммония – ЧПА) и фильтруется, а маточник и промвода являются обратными для сорбционного концентрирования. ЧПА направляется на перекристаллизацию, целью которой является получение ~69 % рения в товарном перренате аммония. Маточник перекристаллизации служит для растворения ЧПА при нагревании.

В основе разработки промышленной технологии извлечения серебра – способность образовывать анионные хлоридные комплексы, которые затем сорбируются анионитами или хелатными комплексообразующими смолами. Для связывания серебра в устойчивый сорбируемый комплекс следует иметь в продуктивном растворе достаточное количество хлор-иона для создания условий по переводу серебра в комплексные анионы. Исходя из значений констант ступенчатого комплексообразования наиболее устойчивым комплексом в растворе хлорида серебра является однозарядный анион  $[AgCl_2]^-$ . Использование комплексообразующих ионитов с группами тиомочевины типа Lewatit TP214 для сорбции серебра обосновано тем, что этот сорбент обладает, высокой селективностью по отношению к хлорокомплексам серебра в технологических медьсодержащих растворах.

Решение задачи эффективного извлечения меди из растворов, полученных после окислительного выщелачивания концентратов азотной кислотой с последующим удалением из системы гидратного осадка железа с минимизацией потерь основного металла, можно рассматривать в двух вариантах – статическом и динамическом, то есть с использованием реакторов идеального смешения ионообменных фаз («пачуковый» процесс в статике) и колонн с плотным слоем ионита в динамическом режиме.

Для количественной оценки динамики сорбции меди (II) с использованием комплексообразующих ионитов предложена феноменологическая модель. Полученное

уравнение связывает основные параметры сорбции двух режимов: известного и неизвестного, позволяя тем самым прогнозировать результаты при изменении входных и выходных параметров. Выведенные феноменологические уравнения могут быть использованы для инженерной оценки выходных параметров процесса динамики сорбции в аппаратах с плотным слоем сорбента с коэффициентом продольного перемешивания, близким или стремящимся к нулю.

*В шестой главе* описаны пилотные испытания технологии переработки черновых концентратов с получением товарных продуктов.

В ходе проведения пилотных испытаний по гидрометаллургической переработке чернового концентрата методом прямого азотнокислого выщелачивания с дальнейшей переработкой продуктивного раствора сорбционно-десорбционным способом были воспроизведены следующие технологические процессы:

- декарбонизация чернового концентрата и его выщелачивание азотнокислым раствором с добавлением хлорида натрия и возвратом отходящих нитрозных газов;
- корректировка рН известковым молоком и осаждение железисто-гипсового кека с последующей его фильтрацией;
- сорбционное извлечение рения из продуктивного раствора в колоннах с неподвижным слоем сорбента с последующей его аммиачной десорбцией, сорбционным концентрированием и кристаллизацией перрената аммония;
- сорбционное извлечение серебра из продуктивного раствора в колоннах с неподвижным слоем сорбента с последующей его десорбцией сернокислым раствором тиокарбамида и электролитическим выделением серебра из элюата в виде катодного осадка серебра (серебросодержащего концентрата) и регенерацией тиокарбамида;
- сорбционное извлечение меди в каскаде пачуков с движущимся слоем сорбента в противоточном режиме с последующей десорбцией меди отработанным электролитом в колоннах ПИК и электроосаждением меди в электролизных ваннах с нерастворимым анодом в замкнутом цикле.

Данные, полученные в результате проведенных пилотных испытаний, использованы в расчете материального баланса распределения основных целевых компонентов (меди, серебра и рения) по продуктам технологии. Результаты балансового



распределения меди и сопутствующих ценных компонентов, а также составы катодной меди марки М00к, серебросодержащего концентрата, содержащего 98,2 % серебра, перрената аммония ТУ 48-7-1-90 марки АР-0.

Показано, что переработка бедных медно-сульфидных руд по предлагаемой гидрометаллургической схеме, в основе которой сорбционные методы извлечения меди, рения, серебра и др., является экономически эффективной технологией с высокими параметрами экологической безопасности.

В целом, результаты представленного автором завершённого исследования вполне достаточны для обоснования новой технологии и подтверждают перспективы её внедрения.

#### **Научная новизна и теоретическая значимость исследования:**

– разработаны и дополнены физико-химические основы гидрометаллургических процессов переработки медьсодержащего сырья Жезказганского региона, не имевших промышленной реализации, за счет внедрения высокотехнологичных и экологически приемлемых процессов;

– обоснована перспективность использования для выщелачивания азотной кислоты в смеси с хлорсодержащими реагентами, для интенсификации процессов вскрытия упорных материалов за счет высокой энергетической эффективности протекающих химических реакций, высокого окислительного потенциала системы, возможности утилизации образующихся нитрозных газов с регенерацией азотной кислоты и возвратом хлор-иона в процесс;

– для извлечения меди из азотно-сернокислых хлорсодержащих растворов рекомендованы хелатные сорбенты с иминодиацетатными функциональными группами, обладающие повышенной избирательностью по отношению к катионам меди(II), полнотой десорбции меди сернокислыми десорбентами;

– выявлены коэффициенты диффузии ионов меди(II) ( $D$ , см<sup>2</sup>/сек) в фазах ионитов, рассчитанные по одним и тем же критериям, как для традиционных ионитов –  $0,56 \cdot 10^{-8}$ , так и для сорбента мелкого класса (35-53 мкм) –  $5,2 \cdot 10^{-8}$ ;

– для сорбции рения предложено феноменологическое уравнение, которое позволяет прогнозировать результаты при изменении входных и выходных параметров, и

которое можно использовать для инженерной оценки выходных параметров динамики плотного слоя;

– установлены кинетические закономерности сорбции серебра ионитами с тиомочевинными функциональными группами;

– исследованы условия десорбции и предложена фронтально-градиентная очистка насыщенной смолы от примесей, путем обработки насыщенного сорбента частью элюата после корректировки диапазона pH;

– выявленные параметры окислительного выщелачивания бедного медно-серного концентрата из руд Жезказганского региона могут быть применены для прогнозирования и управления показателями выщелачивания медно-сульфидных концентратов других месторождений для интенсификации процесса выщелачивания;

– высокоселективный по меди(II) ионит с группами иминодиуксусной кислоты, обладающий высокими кинетическими и емкостными свойствами, открывает новое направление в экологически чистых процессах гидрометаллургии меди при переработке рудного и техногенного сырья, богатого и бедного по меди;

– выявлена технологическая возможность извлечения рения, присутствующего в медно-серных концентратах Жезказганского региона, с применением сорбционных процессов и использованием напорной высокоскоростной аппаратуры с плотным движущимся слоем сорбента;

– показана технологическая возможность извлечения микроконцентраций серебра с использованием сорбентов хелатного типа с функциональными группами тиомочевины с проведением процесса в системах с плотным слоем сорбента, что способствует использованию фронтально-градиентной очистки насыщенной ионами серебра смолы;

– обоснован режим использования мелкодисперсных ионитов для извлечения металлов из водных растворов на высоких скоростях сорбции и десорбции; разработан сорбционно-фильтрационный вариант извлечения рения с получением высокочистого перрената аммония.

#### **Практическая значимость работы:**

– разработана рентабельная технология переработки обедненных медно-сульфидных концентратов для восполнения сырьевой базы Жезказганского

меднорудного месторождения с сохранением объемов производства и рабочих мест;

– обоснованы режимы и параметры процесса азотнокислого выщелачивания обедненного медно-сульфидного концентрата с регенерацией азотной кислоты;

– реализована двухстадийная технология извлечения рения из растворов после выщелачивания медьсодержащего сырья с помощью анионита макропористой структуры с получением высокочистого товарного продукта – перренат аммония;

– метод высокоскоростной аммиачной десорбции рения, применен к десорбции элемента с анионита Puromet МТА1701, что позволяет сократить общую продолжительность десорбции до 30-60 минут против 7-10 часов цикла десорбции по традиционной схеме, сохраняя низкую остаточную емкость возвратного ионита по рению;

– разработан и внедрен фронтально-градиентный метод очистки фазы насыщенного ионита от сопутствующих примесей, позволяющий повысить качество товарных продуктов;

– предложена технология попутного сорбционного извлечения серебра с использованием сорбентов с тиомочевинными функциональными группами; обоснован состав десорбирующего раствора для количественной десорбции серебра с насыщенного ионита для обеспечения многократного использования промышленных смол в технологических процессах.

Технические решения защищены патентами Республики Казахстан.

**Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций** основана на использовании стандартных методик исследования, современного оборудования и специализированного программного обеспечения, подтверждается сходимостью результатов теоретического и экспериментального моделирования, их соответствием известным данным в области теории и практики металлургических процессов.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Научные результаты исследования можно рекомендовать к использованию в качестве учебно-методических материалов при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия цветных металлов».

Изложенные в диссертации технологические разработки необходимо использовать при реконструкции существующих или организации новых производств по селективному извлечению цветных и редких металлов из бедного забалансового рудного сырья и техногенных материалов.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе Захарьяна С.В.**

1. При выщелачивании черногого Cu-концентрата раствором  $100 \text{ г/дм}^3$   $\text{HNO}_3$  и Ж:Т = 4 является ли экономически оправданным дополнительное введение в пульпу  $30 \text{ г/дм}^3$  Cl-иона и нагрев реакционной массы до  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , поскольку степень извлечения серебра увеличивается всего лишь с 88 до 92 %, а меди – с 94 до 99 % (рис.2.2, 2.3) ?

2. За счет чего обусловлено преимущество сорбционных характеристик в кислых растворах ионитов с функциональными группами бис-пиколиламина в сравнении со смолами, обладающими функциональными группами иминодиуксусной кислоты ?

3. Дискуссионным представляется утверждение автора о различном механизме сорбции меди комплексообразующими ионитами при низких и более высоких равновесных концентрациях на основании изменения величин коэффициента распределения металла (D) (рис. 3.4). В частности, в интервале равновесных концентраций меди  $C_{\text{жид}} = (0,5-5) \cdot 10^{-2} \text{ г/дм}^3$  значения  $D = C_{\text{ТВ}} / C_{\text{жид}} = (5-0,5) \cdot 10^3$  при постоянной концентрации меди в фазе смолы  $C_{\text{ТВ}} = 25 \text{ г/дм}^3$  в исследованном интервале концентраций, что не позволяет судить об изменении механизма сорбции.

4. Изотерма сорбции рения из технологического раствора на анионите макропористой структуры Puomet MTA1701 описывается уравнением Ленгмюра, что свидетельствует не только о поглощении перренат-ионов путем ионного обмена с противоионами нейтрализующими заряд протонированных функциональных групп сорбента, но и протекает с образованием монослоя сорбата при преимущественном взаимодействии по схеме «сорбент–сорбат».

5. Для фронтально-градиентной очистки (ФГО) от примесей фазы насыщенного слабоосновного анионита Puomet MTA 1701 используют

Re-содержащие маточники. Какова технология их дальнейшей переработки или утилизации ?

6. Что обуславливает высокую селективность к ионам серебра смол с тиомочевинными функциональными группами ?

7. Утверждается, что в состав сорбата на комплексообразующем ионите Lewatit TP214 входит один ион серебра, в связи с чем какой механизм сорбции превалирует в данном случае – ионный обмен или комплексообразование ?

8. Кинетика сорбции исследованных элементов на органических смолах определяется, в основном, диффузионными процессами. Охарактеризуйте ряд дополнительных факторов, замедляющих процесс обмена противоионов.

### **Заключение**

Несмотря на ряд замечаний, имеющих частный, зачастую дискуссионный, характер и не снижающих общую положительную оценку, представленная на рассмотрение диссертация может быть классифицирована как выполненная на высоком научном уровне и обладающая достаточной практической ценностью законченная научно-квалификационная работа. Диссертация соответствует специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов и отрасли технические науки, по которым она представлена к защите.

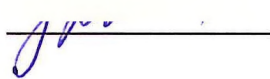
Работа оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11–2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления», изложена хорошим литературным языком, отличается логичностью заключений, целостностью замысла и завершённой его реализации. Сделанные выводы и рекомендации достоверны и сомнений не вызывают. Полное представление о содержании работы дают автореферат и сорок одна опубликованная работа: тринадцать статей в изданиях из перечня ВАК; одна монография; семь патентов на изобретение; двадцать статей в сборниках.

Исходя из проведённой оценки актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизны, научной и

практической ценности изложенных материалов следует заключить, что представленная работа отвечает требованиям к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, определённым п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», утверждённый приказом ректора от 21 октября 2019 года № 879/03, а её автор, Захарьян Семен Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

**Официальный оппонент:** доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный специалист Исследовательского центра АО «Уралэлектромедь»

Мальцев  
Геннадий  
Иванович




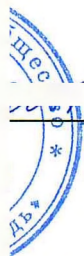
624091, Россия, Свердловская обл., г. Верхняя Пышма, Успенский проспект, дом 1, АО «Уралэлектромедь»

Телефон: (34368) 4-26-26; Факс: (34368) 4-60-96; E-mail: [mgi@elem.ru](mailto:mgi@elem.ru)

27 марта 2020 г.

Подпись Г.И. Мальцева заверяю:

Зам. начальника отдела кадров  
АО «Уралэлектромедь»

Шалгина О.С.