

Издается Санкт-Петербургским горным университетом
императрицы Екатерины II

С 1907 ГОДА

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

ДАЙДЖЕСТ



ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ. МЕДЬ

№ 9 • 2024

PMI.SPMI.RU

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ. МЕДЬ

ДАЙДЖЕСТ

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

№ 9

Санкт-Петербург
2024

Аннотация

Обладая высокой электро- и теплопроводностью, медь на сегодняшний день входит в число стратегически важных ценных цветных металлов, опережая по первому показателю серебро. Именно благодаря этому она играет важную роль в разработке и проектировании электрических систем, теплоотводящих частей различных установок и других процессах. Подобный спрос рождает необходимость в получении большего объема сырья, однако добыча медной руды и последующее получение медных концентратов являются трудоемкими процессами, так как содержание меди в руде обычно не превышает 10 %.

Еще одной проблемой получения готовых медных концентратов является то, что медь часто залегает в сочетании с цинком, свинцом, золотом, серебром и другими металлами, что так же сказывается на сложности процесса обогащения медной руды. И тем не менее спрос на медь сохраняется, как и высокие цены на нее.

Российская медная промышленность, считающаяся достаточно развитой, может укрепить свои позиции на мировой арене – согласно данным Минпромторга, в 2025–2030 годах цветную металлургию ждет бурный рост, возможный только при интенсивном наращивании добычи цветных металлов, объемов переработки и экспорта. Переход на «зеленую» энергетику только упрочит позиции отечественной промышленности – например, рост потребления меди будет наблюдаться в производстве электромобилей (батарей, обмотки), солнечных панелей, ветрогенерации и др. областях.

© Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, 2024

Содержание

Геологоразведочные работы и инженерная геология	4
Металлургия и обогащение.....	15
Технологические процессы и аппаратурно-технологические комплексы.....	33
Физическая химия, обогащение меди	45

Геологоразведочные работы и инженерная геология

Россия обладает одними из самых крупных запасов меди в мире. Основные медные месторождения расположены на Урале, в Сибири и Дальнем Востоке. По состоянию на 2023 год российская медная промышленность показывает стабильные показатели по объему добычи и обработки меди, несмотря на различные экономические вызовы. Производство меди в России поддерживается высоким уровнем внутреннего спроса и постоянным экспортом. Российская медь ценится на международном рынке за свое высокое качество.



*Медный самородок «Медвежья шкура».
Восточный Казахстан. Высота – более 2 м, вес – 842 кг.
Дар императора Александра II. Из коллекции Горного музея.*

Пашкевич М.А., Алексеенко А.В., Нуреев Р.Р. Формирование экологического ущерба при складировании сульфидсодержащих отходов обогащения полезных ископаемых // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 155-167. DOI: 10.31897/PMI.2023.32



Аннотация. Горноперерабатывающая отрасль является одной из самых сложных с точки зрения обеспечения экологической безопасности отраслей производства. На протяжении прошлого века Карабашский медеплавильный комбинат осуществлял обогащение сульфидных руд, в результате которого были образованы территории хвостового хозяйства площадью более 50 га. На сегодняшний день бесхозные хвостохранилища являются основным источником загрязнения природных водных объектов, воздуха и почвы в Карабашском городском округе. В статье комплексно рассмотрено воздействие на компоненты окружающей среды одного из старейших металлургических предприятий России – медеплавильного завода АО «Карабашмедь». Проведена оценка влияния инфильтрационных вод двух хвостохранилищ предприятия АО «Карабашмедь» на компоненты гидросферы. Отмечено, что вне зоны влияния отходов обогащения рН природной воды снижается до значений 4-5. Далее по течению реки находится хвостохранилище № 4, инфильтрационные воды которого снижают рН воды до 3-3,5. Приведены результаты инженерно-экологических изысканий – отбор проб воды и донных отложений руч. Рыжий и р. Сак-Элга, пробоподготовка и количественный анализ состава проб. Установлено, что в зоне влияния хвостов обогащения медных руд присутствуют значительные превышения предельно допустимых концентраций по ряду элементов.

Зубкова О.С., Пягай И.Н., Панкратьева К.А., Торопчина М.А. Разработка состава и исследование свойств сорбента на основе сапонита // Записки Горного института. 2023. Т. 259. С. 21-29. DOI: 10.31897/PMI.2023.1



Аннотация. В связи с высокими требованиями природоохранного законодательства к сбросу промышленных сточных вод необходима разработка комплексного подхода к предотвращению загрязнения природных объектов. В различных отраслях производства для извлечения тяжелых металлов из сточных вод применяются адсорбенты. В данном исследовании рассматривается возможность использования сапонитовой глины в качестве сырья для производства сорбента с целью извлечения ионов меди Cu^{2+} из промышленных стоков, разработана рецептура и технология получения сорбента, а также установлен его химический состав. Установлено, что оптимальная температура для термообработки сорбента соответствует $550\text{ }^\circ\text{C}$, так как при данной температуре сапонитовые экструдаты приобретают прочностные (прочность $34,1\text{ кг/мм}^2$) и текстурные свойства (удельная поверхность гранулы $22,803\text{ м}^2/\text{г}$), позволяющие применять их в качестве сорбентов. Исследование кинетики молекулярной адсорбции проведено при использовании модельных растворов сульфата меди (II). Эффективность извлечения ионов меди (II) из модельных растворов составляет 93 %. Эффективность извлечения ионов меди (II) из стоков омеднения достигает 94 %. Результаты СЭМ подтверждают наличие металла на поверхности сорбента.

Луцкий Д.С., Игнатович А.С. Исследование гидрометаллургического извлечения меди и рения при переработке медных некондиционных концентратов // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 723-729. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.11



Аннотация. За последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост спроса на редкие металлы: рений является одним из самых высоковольтостребованных, но при этом одним из наиболее труднодоступных и дорогих металлов. Высокий спрос на рений обусловлен его использованием в качестве ключевого компонента металлургических сплавов или компонента катализаторов, применяемых в нефтеперерабатывающей отрасли. Совокупность факторов обуславливает рентабельность переработки ренийсодержащего минерального сырья, которым также являются медные некондиционные концентраты, полученные при переработке Джекказганских песчаников. Исследованы процессы экстракционного извлечения меди и сорбционного извлечения рения из растворов аммиачного выщелачивания медных некондиционных концентратов. В качестве объекта исследования применялись модельные растворы, близкие по элементному составу растворам аммиачного выщелачивания медных некондиционных концентратов, полученные при переработке Джекказганских песчаников. Определены экстракционные характеристики извлечения меди с применением раствора LIX 84-I в керосине, а также сорбционные характеристики процесса извлечения рения с использованием анионита Purolite PPA100. На основании полученных характеристик показана возможность гидрометаллургической переработки растворов аммиачного выщелачивания некондиционных медно-сульфидных концентратов с получением товарной продукции.

Новаков Р.М., Кунгурова В.Е., Москалева С.В. Условия образования благороднометальной минерализации в сульфидных кобальт-медно-никелевых рудах Камчатки (на примере рудопоявления Аннабергитовая Щель) // Записки Горного института. 2021. Т. 248. С. 209-222. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.5



Аннотация. Представлены результаты исследований, целью которых является изучение особенностей благороднометальной минерализации и ее генезиса в сульфидных кобальт-медно-никелевых рудах Камчатской никеленосной провинции. Статья посвящена одному из ее многочисленных рудопоявлений под названием Аннабергитовая Щель. Исследован вещественный состав минералов платиноидов, серебра, золота, висмута и теллура, а также сульфоарсенидов в рудах этого проявления. На основе данных о последовательности минералообразования, с привлечением геосенсоров сделаны выводы о генезисе благороднометальной минерализации. Формирование минералов платиноидов, серебра и золота на рудопоявлении Аннабергитовая Щель в основном связано с эпигенетическим воздействием пострудных гранитоидов на породы рудоносной интрузии дукукского комплекса кортландит-норитовой формации и сингенетические руды. Ранняя ассоциация минералов благородных металлов представлена сперрилитом, ирарситом и редкими неназванными фазами Pt + Ir + Te. Ирарсит и фазы Pt + Ir + Te сформировались на контактово-метасоматическом этапе. Для сперрилита можно предполагать магматическое происхождение. На позднем, гидротермально-метасоматическом этапе образовались сульфиды и теллуриды серебра, висмутотеллуриды серебра и палладия, а также самородное золото. Условия возникновения минеральных парагенезисов, связанных с благороднометальной минерализацией, соответствуют формированию метасоматиче-

ских пород малых глубин (≤ 5 км). Неполнопроявленные кварц-полевошпатовые метасоматиты, с которыми связано образование ранних арсенидов и сульфоарсенидов платиноидов, равновесны с растворами, близкими к нейтральным (pH 4,5-6,5) при температурах 350-600 °С. Поздняя гидротермальная ассоциация с минералами Pd, Ag и Au близка к пропилитам и формировалась при pH 4,5-6,5 и температуре 150-350 °С.

Алтушкин И.А., Левин В.В., Сизиков А.В., Король Ю.А. Опыт освоения месторождений медно-порфиروهого типа на Урале // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 641-648. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641



Аннотация. Русская медная компания первой в России приступила к освоению медно-порфиروهых месторождений. В 2013 г. был введен в эксплуатацию Михеевский ГОК производительностью 18 млн т руды в год. Использование инновационных подходов в выборе технологии, высокопроизводительного оборудования и организации строительства позволили вывести предприятие на проектную мощность и достичь всех ожидаемых результатов за три года от начала строительства. На основании опыта, приобретенного при проектировании, строительстве и эксплуатации Михеевского ГОКа, в 2017 г. компания приступила к строительству нового ГОКа на Томинском месторождении. На первом этапе предусматривается мощность предприятия 28 млн т с возможным увеличением до 56 млн т. Освоение медно-порфиروهых месторождений на Урале позволит обеспечить сырьем медные заводы на ближайшие 80-100 лет.

Степанов В.А., Мельников А.В. Месторождения золото-кварцевой формации Приамурской провинции // Записки Горного института. 2017. Т. 223. С. 20-29. DOI: 10.18454/PMI.2017.1.20



Аннотация. Приведено описание месторождений золото-кварцевой формации Приамурской золотоносной провинции. Преобладание золото-кварцевых месторождений определяет металлогенический профиль провинции и наличие большого количества богатых россыпей. Месторождения отнесены к фронтальной, средней и прикорневой частям рудной колонны. Во фронтальной части рудной колонны располагается большая часть месторождений. Они мелкие и представлены рассредоточенными кварцевыми, полевошпат-кварцевыми и карбонатно-кварцевыми жилами. Руды отличаются неравномерным содержанием золота, встречаются бонанцы. Золото свободное, от мелкого до крупного и небольших самородков. Оно ассоциирует с арсенопиритом, галенитом, пиритом, иногда с антимонитом. Среди элементов-примесей отмечаются медь, ртуть, сурьма и мышьяк. Преобладание в пределах провинции месторождений фронтальной части рудной колонны указывает на значительные перспективы выявления на глубине богатого оруденения средней части рудной колонны. В средней части рудной колонны находятся средние и мелкие месторождения. Рудные тела часто представлены жильно-прожилковыми зонами, иногда зонами метасоматитов. Для золото-кварцевых руд характерно свободное самородное золото преимущественно мелких и тонких классов крупности. Среди рудных минералов кроме арсенопирита, пирита и галенита часто отмечается шеелит. Мелкие месторождения прикорневой части рудной колонны встречаются редко. Рудные тела представлены как кварцевыми жилами, так и зонами метасоматитов. Золото преимущественно свободное, мелких и тонких классов крупности. Среди микропримесей в составе золота преобладает ртуть. Отнесение золото-кварцевых месторождений к той или иной части рудной колонны поможет точнее определить их перспективы. Это, в свою, очередь позволит правильно выбирать объекты для дальнейшей оценки.

Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г. Геохимия техногенеза в районе разработки Сибайского медно-колчеданного месторождения // Записки Горного института. 2013. Т. 203. С. 196-204. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5637>



Аннотация. На основе комплексных исследований территории разработки Сибайского медно-колчеданного месторождения установлены особенности изменения химического состава природных вод, показана специфика техногенной миграции рудных элементов в донных осадках реки и в почвах, а также вовлечения тяжелых металлов в биогеохимический круговорот. Выявлена степень трансформации природных геохимических процессов в условиях техногенеза. Определены ориентировочные размеры техногенных ореолов и потоков рассеяния рудных металлов. Даны рекомендации, направленные на снижение техногенной миграции элементов.



Кварцевые прожилки с халькопиритом в хлоритовом сланце. Урал. Из коллекции Горного музея.

Орехов А.Н. Результаты геофизических исследований на медно-порфировом месторождении (Республика Тыва) // Записки Горного института. 2011. Т. 194. С. 197-199. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6185>



Аннотация. Значительную долю в структуре ресурсов рудного золота как в мире, так и в России занимают комплексные медно-порфировые месторождения. Повышение эффективности интерпретации данных геофизических методов при их поисках и разведке может быть достигнуто за счет использования петрофизических и физико-геологических моделей объектов. Приведены материалы изучения Ак-Сугского месторождения геофизическими методами, представлен анализ результатов этих работ.

Петров Д.А. Особенности структуры руд Рубцовского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Записки Горного института. 2006. Т. 167. № 2. С. 40-42. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7953>



Аннотация. Представлены результаты изучения структуры руд Рубцовского колчеданно-полиметаллического месторождения. Материалом для исследований послужили полированные шлифы свинцово-медно-цинковых руд. Изучен минеральный состав руд, установлен порядок кристаллизации рудных минералов. Обнаружены и описаны различия в структуре и минеральном составе руд из разных частей рудного тела. Гранулометрический анализ минеральных зерен проведен на персональном компьютере при помощи программных пакетов VideoTest и Excel-98. Включения халькопирита в сфалерите изучались методами электронной микроскопии. Сделаны выводы об условиях образования руд и их технологических свойствах.

Корсаков А.К. Разработка теории рудогенеза и прогнозно-поисковых моделей на золото, платину, медь и никель для зеленокаменных комплексов Карелии // Записки Горного института. 2004. Т. 158. С. 191-193. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8830>



Аннотация. Рассмотрены пространственная и генетическая связь месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых с геодинамическими комплексами позднеархейских и раннепротерозойских зеленокаменных поясов Карелии. На этой основе определено место рудообразующих процессов на определенных стадиях формирования зеленокаменных поясов.



*Халькопирит-пентландит-пирротиновая руда.
Талнахское месторождение. г. Норильск.
Из коллекции Горного музея.*

Петров Д.А. Использование фрактального анализа для характеристики структуры руд Александринского месторождения (Южный Урал) // Записки Горного института. 2004. Т. 159. № 1. С. 26-28. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8706>



Аннотация. Представлен способ характеристики структуры медно-цинковых сульфидных руд посредством фрактальной размерности. Фрактальная размерность позволяет количественно оценивать сложность границ минеральных зерен в руде. Эта информация может быть основой для прогноза дезинтеграции руд при обогащении. Материалом для исследований послужили полированные шлифы медно-цинковых руд из Александринского месторождения (Урал). Измерение фрактальной размерности проводилось методом шагового покрытия на персональном компьютере с использованием программ Adobe Photoshop 7.0 и FractShop. Данный метод применяется для сульфидных руд впервые.

Металлургия и обогащение

Российская медная промышленность активно инвестирует в новые технологии и исследования. Применение передовых методов добычи и обогащения позволяет увеличить эффективность производства и уменьшить влияние на окружающую среду.



Коллекция «Первые продукты комплексной металлургической переработки руд и концентратов Норильских месторождений, полученные группой никеля Л.Г.И.». Из коллекции Горного музея.

Дурягина А.М., Таловина И.В., Либервирт Х., Илалова Р.К. Морфометрические параметры сульфидных руд как основа селективной рудоподготовки сырья // Записки Горного института. 2022. Т. 256. С. 527-538. DOI: 10.31897/PMI.2022.76



Аннотация. Для оценки возможности селективной дезинтеграции и снижения степени переизмельчения труднообогатимых руд были проведены оптико-микроскопические и рентген-микротомографические исследования, идентифицированы количественные характеристики морфологических параметров образцов вкрапленных и богатых медистых руд норильского типа Октябрьского месторождения. Среди количественных морфологических параметров наиболее информативными оказались площадь зерен, периметр, неровность края, сферичность, вытянутость и среднее расстояние между зернами для вкрапленных медно-никелевых руд; площадь зерен, периметр, неровность края и вытянутость для богатых медистых руд. Изученные параметры характеризуются увеличением значений и дисперсности в рудных зонах, что особенно важно для тонкозернистых руд, с трудом диагностируемых оптическими методами. Методом компьютерной рентгеновской микротомографии проведено трехмерное моделирование внутреннего строения образцов с сульфидной минерализацией, благодаря которому можно наблюдать количественные параметры зерен, агрегатов, распределение в общем объеме породы и взаимоотношения друг с другом. Оценка порового пространства породы методом компьютерной микротомографии дала возможность сопоставить полученные результаты с прочностными характеристиками горных пород и руд, в том числе на различных типах дробилок. Полученные количественные характеристики структурно-текстурных параметров, анализ гранулометрического состава зерен рудных минералов позволяют оценить возможность применения селективного измельчения на различных этапах подготовки руды.

Соэ К.М., Руан Р., Цзя Я., Тан Ц., Ван Ч., Ши Ц., Чжонг Ч., Сун Х. Влияние осаждения ярозита на баланс железа при кучном биологическом выщелачивании на медном руднике Монива // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 3-11. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.11



Аннотация. Трехвалентное железо является важным окислителем при биологическом выщелачивании сульфидных руд. Однако рециркуляция выщелачивающих растворов приводит к избыточному накоплению железа, что мешает кинетике выщелачивания и последующему извлечению металла. Авторами статьи был разработан метод контроля осаждения железа в виде ярозита для уменьшения избытка железа при кучном биологическом выщелачивании на медном руднике Монива. Осаждение ярозита было сначала смоделировано, а затем подтверждено с помощью испытаний в колонках периодического действия. По результатам моделирования, минимальные значения рН для осаждения ярозита калия, гидрониум- и натроярозита при 25 °С составляют 1,4, 1,6 и 2,7 соответственно; минимальные концентрации ионов калия, сульфатов, железа и натрия при 25 °С и рН 1,23 составляют 1 моль/м³, 0,54, 1,1 и 3,2 кмоль/м³ соответственно. Колоночные эксперименты показывают, что осаждение ярозита калия является первостепенным по сравнению с осаждением натроярозита. Кроме того, понижение кислотности (с 12 до 8 г/л), повышение температуры (с 30 до 60 °С) и повышение концентрации ионов калия (с 0 до 5 г/л) увеличивают эффективность осаждения ярозита в 10, 5 и 6 раз соответственно. Наилучшие показатели осаждения ярозита достигаются при увеличении рН промывочного раствора до 1,6. Ожидается, что данный подход сократит эксплуатационные затраты на кучное биологическое выщелачивание за счет минимизации расхода химикатов на нейтрализацию, отсутствия необходимости в строительстве прудов-отстойников и повышения извлечения меди.

Киореску А.В. Интенсификация бактериально-химического выщелачивания никеля, меди и кобальта из сульфидной руды с применением микроволнового излучения // Записки Горного института. 2019. Т. 239. С. 528-535. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.528



Аннотация. В последние годы в России и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция к истощению запасов богатой и легкообогатимой руды. В связи с этим все большее внимание уделяется технологии бактериально-химического выщелачивания (БХВ), которая в отличие от традиционных пирометаллургических методов обогащения хорошо применима для переработки низкосортного минерального сырья. Однако данная технология имеет существенный недостаток, который заключается в неспособности микроорганизмов создавать достаточно агрессивные условия для эффективной деструкции минеральных комплексов, что негативно сказывается на продолжительности процессов. В статье представлены результаты проведенного эксперимента, целью которого являлось исследование многократного кратковременного воздействия СВЧ-излучения на эффективность извлечения никеля, меди и кобальта в процессе бактериально-химического выщелачивания сульфидной руды. В качестве источника микроволнового излучения была использована СВЧ-печь мощностью 900 Вт и частотой излучения 2,45 ГГц. Облучение проводилось каждые сутки на протяжении всего эксперимента. Время экспозиции 5 и 10 с, плотность потока 0,7 Вт/см². Было установлено, что при всех исследуемых режимах СВЧ-облучения наблюдается существенное повышение эффективности накопления биомассы и окислительной способности среды по сравнению с контролем, не подвергнутому воздействию микроволнового излучения. Облучение в течение 5 с дважды в сутки повысило извлечение никеля на 16 %, кобальта на 15 % и меди на 6 %. Результаты проведенного исследования позволяют оценить перспективы применения новых методов биотехнологии в промышленной практике переработки рудного сырья с улучшением качественных показателей.

Маринин М.А., Хохлов С.В., Ишейский В.А. Моделирование режима протекания процесса сварки плоских листовых деталей взрывом // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 275-280. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.275



Аннотация. Перечень материалов, подлежащих сварке взрывом, весьма обширен и составляет несколько сотен сочетаний различных сплавов и металлов, а многообразие схем сварки взрывом насчитывает более тысячи вариантов. Практически во всех технических решениях процесс предусматривает последовательное создание физического контакта свариваемых материалов и их соединение за счет пластической деформации контактирующих поверхностей. Прочность такого соединения зависит от режима протекания процесса сварки. При правильном подборе параметров режима возможно получить качественное соединение требуемой прочности, однако экспериментальный подбор таких вариантов является весьма трудоемким и затратным процессом. Компьютерное моделирование и применение математических моделей для решения динамических задач механики взрыва упрощает поиск оптимальных параметров и позволяет в кратчайшие сроки прогнозировать ожидаемый результат. В статье рассмотрены вопросы моделирования сварки металлов взрывом, расчеты, связанные с параметрами процесса образования сварного шва посредством программного пакета Ansys Autodyn. Представлена модель для анализа деформационного процесса сварки взрывом пластины и ее соединения с матрицей. Определены основные параметры сварки взрывом (скорость, давление, время). Адекватность получаемых значений оценивалась в системах алюминий – медь, медь – сталь. Выполнен сравнительный анализ результатов моделирования и натурных экспериментов. На основе численных расчетов обоснован вывод о пригодности полученной модели для предварительного анализа основных параметров сварки на подготовительном этапе.

Слободов А.А., Сырков А.Г., Ячменова Л.А., Кущенко А.Н., Прокончук Н.Р., Кавун В.С. Влияние температуры на твердотельный гидридный синтез металлов по данным термодинамического моделирования // *Записки Горного института*. 2019. Т. 239. С. 550-555. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.550



Аннотация. Проведено термодинамическое моделирование восстановления дихлорида меди в атмосфере различных газообразных гидридов (в аммиаке, моносилане, метане) в температурном интервале 273-1000 К. Расчеты показывают, что в более узких диапазонах значений температуры, отвечающих протеканию реакций твердотельного гидридного синтеза (ТГС) металлических веществ, образование металла, как правило, подтверждается теорией. В результате термодинамического моделирования получен принципиальный результат о подавлении конкурирующих процессов нитрирования, силицирования и карбидизации металла в условиях ТГС, имеющий значение для металлургических производств. Это дополнительно обосновывает корректность предыдущих экспериментальных исследований разработчиков ТГС металлов с модифицированной поверхностью и улучшенными свойствами. Путем моделирования выявлено, что восстановление твердого дихлорида меди до металла в атмосфере аммиака или метана происходит ступенчато (последовательно, согласно правилу Байкова) через промежуточные стадии образования соединения низковалентной меди – хлорида меди (I).

Жмурова В.В., Немчинова Н.В. Опыт комплексного использования золотосодержащего сырья при производстве драгоценных металлов // *Записки Горного института*. 2018. Т. 233. С. 506-511. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.506



Аннотация. С истощением богатых золотосодержащих руд в переработку все чаще стали вовлекаться полиметаллические руды, которые помимо драгоценных металлов содержат другие элементы, представляющие интерес для их извлечения. Проблема использования таких руд решается крайне трудно из-за высокой себестоимости доизвлечения сопутствующих ценных компонентов. В работе приведены результаты исследований по комплексному использованию добываемого золотосодержащего сырья на примере месторождения «Березитовое» (Амурская обл.), характеризующегося низким содержанием драгоценных металлов и наличием в значительном количестве тяжелых цветных металлов (меди, свинца). Были проведены экспериментальные работы по получению меди методом цементации из растворов, образующихся после выщелачивания соляной кислотой примесей золотосодержащих катодных осадков. Металлом-цементатором служила железная стружка (отходы токарного цеха предприятия). Далее было предложено использование цементационной меди в качестве коллектора при переплавке шлаков – отходов переработки бедных полиметаллических руд, содержащих драгоценные металлы. Авторами были получены слитки сплава лигатурного золота с массовой долей золота 16 %, отвечающие требованиям ТУ 117-2-7-75 по содержанию цветных металлов. Серебро, частично перешедшее в раствор при солянокислой обработке катодных осадков, также восстанавливается совместно с цементационной медью и при последующей плавке переходит в сплав лигатурного золота. Таким образом, предложенный авторами метод способствует снижению содержания драгоценных металлов в «незавершенном производстве» золотоизвлекательной фабрики. Показана возможность реализации полученной цементационной меди на предприятиях, специализирующихся на изготовлении ювелирных изделий; ожидаемый экономический эффект при этом составил более 1,8 млн руб.

Воропанова Л.А., Пухова В.П. Экстракция ионов меди, кобальта и никеля из водных растворов экстрагентом марки CYANEX 272 // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 498-505. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.498



Аннотация. Экстрагент марки CYANEX 272, активным компонентом которого является ди(2,4,4-триметилпентил)-фосфиновая кислота ($C_8H_{17}O_2PO_3H$), эффективен для экстракции ионов меди (II), кобальта (II) и никеля (II). Извлечение ионов металлов с использованием в качестве экстрагента ди(2,4,4-триметилпентил)-фосфиновой кислоты осуществляется за счет образования фосфорорганического комплекса в широком диапазоне pH: медь при $pH > 2$, кобальт при $pH > 3$, никель при $pH > 5$. При этом экстрагируются органической фазой: медь при $pH = 3-7$, кобальт при $pH = 4-7$, никель при $pH = 6-9$, а осаждаются в составе фосфорорганического соединения: медь при $pH > 7$, кобальт при $pH \geq 8$, никель при $pH \geq 10$. Возможность разделения меди (II) и кобальта (II) незначительна, разделение меди (II) и никеля (II) происходит при $pH = 4-6$, а разделение кобальта (II) и никеля (II) – при $pH = 5-6$. Полученные результаты экстракции ионов исследованных металлов могут быть использованы не только для переработки технологических растворов, но также для очистки стоков промышленных предприятий от рассматриваемых ионов металлов, шахтных и рудничных вод, растворов кучного и подземного выщелачивания и т.п.

Балыков А.А., Левенец О.О., Хайнасова Т.С. Проточный биореактор для исследования бактериально-химического выщелачивания сульфидных медно-никелевых руд и концентратов // Записки Горного института. 2018. Т. 232. С. 383-387. DOI: 10.31897/PMI.2018.4.383



Аннотация. Бактериально-химическое выщелачивание металлов зарекомендовало себя как альтернативная технология гидрометаллургической переработки и обогащения рудного сырья благодаря снижению капитальных затрат и вредного воздействия на окружающую среду. Различные технологические схемы биовыщелачивания успешно применяются для переработки сульфидных концентратов, бедных сульфидных и окисленных руд. Одной из важнейших задач дальнейшего развития данной отрасли биотехнологии является усовершенствование биореакторных установок (в частности – проточного типа), снабжение их системами дополнительного контроля технологических параметров. В статье кратко освещены основные результаты, полученные в НИГТЦ ДВО РАН в рамках исследований биовыщелачивания сульфидной кобальт-медно-никелевой руды. Приведено описание биореактора для исследования биовыщелачивания в периодическом режиме и реакторной установки каскадного типа для исследования биовыщелачивания в непрерывном режиме. Представлена модель усовершенствованного биореактора для бактериально-химического выщелачивания сульфидной руды. Приведено подробное описание микроконтроллерного способа управления технологическими параметрами. Область применения представленных результатов – лабораторные, укрупненные и полупромышленные испытания технологии чанового и реакторного бактериально-химического выщелачивания сульфидных руд.

Воропанова Л.А., Кисиев Н.Т. Очистка никелевого электролита от примесей железа (III) и меди (II) экстракцией смесью олеиновой кислоты и триэтанолamina // Записки Горного института. 2015. Т. 214. С. 28-32. <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/5198>



Аннотация. Определены условия селективного и совместного извлечения примесей меди и железа из никелевого электролита экстракцией смесью олеиновой кислоты и триэтанолamina в керосине: извлечение Fe (III) при $3 < \text{pH} \leq 4$, $1 \leq \text{В:О} \leq 4$ и $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; извлечение Cu (II) при $5 \leq \text{pH} \leq 6$, $1 < \text{В:О} \leq 4$ и $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; совместное извлечение железа и меди при $\text{pH} = 5-6$, $1 \leq \text{В:О} \leq 4$ и $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Дана принципиальная технологическая схема селективного извлечения железа и меди из никелевого электролита экстракцией смесью олеиновой кислоты и триэтанолamina в керосине.

Васильев Ф.А., Доливо-Добровольская Г.И., Салтыкова С.Н. Обжиг труднообогатимой медно-молибденовой руды // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 125-128. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5452>



Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния предварительной биологической обработки силикатными бактериями на протекание процесса обжига труднообогатимой забалансовой медно-молибденовой руды.

Бодуэн А.Я., Петров Г.В., Спыну А.Ю., Андреев Ю.В., Мардарь И.И. Извлечение рения при гидрометаллургической переработке осмийсодержащих полупродуктов сульфидных медных руд // Записки Горного института. 2013. Т. 202. С. 161-163. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5679>



Аннотация. Попутное концентрирование ценных компонентов при переработке сульфидного медного сырья сопровождается образованием полупродуктов, обогащенных осмием, рением и селеном. Показаны особенности технологического поведения рения, радиоогенного осмия и селена, определены продукты-концентраторы редких микрокомпонентов и намечены методы их извлечения.



Анодная медь. Комбинат «Североникель». Из коллекции Горного музея.

Салтыкова С.Н., Доливо-Добровольская Г.И., Максимова А.В. Анализ данных по кристаллохимической природе фаз медно-никелевого фанштейна и бинарной системе Co-S // Записки Горного института. 2013. Т. 202. С. 209-213. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5690>



Аннотация. Задачей цветной металлургии является комплексное использование рудного сырья и увеличение объема производства при одновременном снижении материальных затрат на единицу продукции. При переработке сульфидных руд попутно с никелем и медью извлекают кобальт, благородные и часть редких металлов, стараясь осуществить максимально возможный перевод кобальта и малых спутников рудного сырья в никелевую ветвь. Однако процессом флотации не удается не чисто отделить никель от меди и поэтому получают сульфидный никелевый продукт, содержащий до 4 % (по массе) меди и медный сульфидный концентрат с 3-6 % (по массе) никеля. Вместе с никелем в медный концентрат переходит и часть кобальта. В учебной и справочной литературе сравнительно мало научно обоснованных и согласующихся между собой данных по фазовому составу штейнов и фанштейнов и, особенно, о формах нахождения кобальта в названных металлургических продуктах. Для повышения извлечения кобальта в никелевый продукт при флотации фанштейна необходимы глубокие исследования по изучению кристаллохимической природы составляющих фаз фанштейна.

Теляков А.Н., Горленков Д.В., Рубис С.А., Богуславский А.Ю. Обоснование процесса перехода благородных металлов в раствор при растворении медно-никелевых анодов на основании диаграмм Пурбе // Записки Горного института. 2013. Т. 202. С. 217-219. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5692>



Аннотация. Возрастающая потребность в драгоценных металлах обуславливает необходимость развития вторичной металлургии. В настоящее время важным условием переработки отходов радиоэлектронной техники является наиболее полное извлечение драгоценных металлов и уменьшение массы остатков. Даны предположения о возможных вариантах поведения благородных металлов в зависимости от условий ведения процесса электролиза на основании диаграмм Пурбе.

Иванов Б.С., Бодуэн А.Я. Применение комбинации методов гидрометаллургии и обогащения для повышения качества низкосортных медных концентратов // Записки Горного института. 2012. Т. 196. С. 128-131. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6034>



Аннотация. На сегодняшний день минерально-сырьевая база характеризуется истощением крупных месторождений с относительно хорошим качеством полезных ископаемых, и в переработку вовлекаются природные и техногенные месторождения с низким содержанием полезных компонентов, разработка которых ранее считалась экономически нецелесообразной. В работе приведена технология автоклавной переработки низкосортного сульфидного медного концентрата и результаты опытов по улучшению качества продукта, полученного в ходе автоклавной переработки, – медного концентрата II.

Орлов А.К., Коновалов Г.В., Бодуэн А.Я. Пирометаллургическая селекция медно-цинковых материалов // Записки Горного института. 2011. Т. 192. С. 65-68. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6319>



Аннотация. В статье рассматривается совместная пирометаллургическая переработка медных штейнов и медно-цинковых материалов сложного состава. Дана термодинамическая оценка этого процесса. Предложен новый способ переработки медно-цинковых материалов и его аппаратное оформление.

Данилова Н.В. Расчет материальных потоков пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья // Записки Горного института. 2010. Т. 186. С. 176-180. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6738>



Аннотация. Рассмотрена технология пирометаллургического цикла переработки медных сульфидных материалов, включающая автогенную плавку в печах Ванюкова, конвертирование медного штейна и огневое рафинирование черновой меди с получением анодной меди. Описаны основные задачи составления модели и принятые допущения. Уравнениями системы модели являются балансовые выражения для каждого из материальных потоков. Найдены выражения для расчета материальных потоков пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья.

Модестова С.А. Исследование вскрытия необезжележенных электролитных шламов медного производства // Записки Горного института. 2010. Т. 186. С. 191-193. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6742>



Аннотация. Рассмотрены методы переработки электролитных шламов медного производства. Исследован процесс автоклавного окислительного выщелачивания медного шлама. Установлено, что автоклавное вскрытие обеспечивает селективный перевод в раствор цветных металлов и концентрирование в кеках выщелачивания благородных металлов.

Терновой В.В., Самойленко А.И., Цараков О.И. Обоснование минимального промышленного содержания полезного компонента для месторождений комплексного минерального сырья // Записки Горного института. 2009. Т. 184. С. 94-98. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6838>



Аннотация. Рассмотрены проблемы, связанные с расчетом минимального промышленного содержания комплексных руд цветных металлов, на примере Ждановского месторождения медно-никелевых руд и перспективного Масловского месторождения платинометалльно-медно-никелевых руд. Выполнен расчет минимального промышленного содержания никеля при технико-экономическом обосновании разведочных кондиций по действующим и скорректированным формулам. Проведен анализ полученных результатов.

Беркутов Ю.В. Проблемы автогенных процессов в металлургии меди, никеля и пути их решения // Записки Горного института. 2009. Т. 182. С. 146-147. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6976>



Аннотация. Представлены основные проблемы, сопровождающие автогенные плавки медных и никелевых шихт, а также предполагаемые пути их решения.

Смирнов Ю.М., Мельник К.И. Взвешенное конвертирование медных штейнов // Записки Горного института. 2007. Т. 173. С. 147-150. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7580>



Аннотация. Выполнен комплекс расчетов материального и теплового баланса главных химических процессов поэтапного образования меди при окислении сульфида меди в твердом и расплавленном состояниях. Расчетами доказана необходимость присутствия в шихте оптимального количества сульфидного железа, обеспечивающего тепловой баланс и образование меди в условиях взвешенного конвертирования.

Чистяков А.А. Кинетика выщелачивания цинка из шлака свинцово-медного производства // Записки Горного института. 2007. Т. 170. № 1. С. 180-182. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7812>



Аннотация. Найдены оптимальные условия процесса выщелачивания. Определены зависимости скорости процесса от основных технологических параметров – температуры, концентрации реагентов, соотношения Ж : Т фаз. Получены кинетические характеристики процесса выщелачивания: константы скорости реакции при различных температурах, кажущаяся энергия активации процесса.

Малашита А.В. Экспериментальные предпосылки возможности применения азотсодержащих органических оснований при сернокислотном выщелачивании золота из медьсодержащих отходов горного производства // Записки Горного института. 2004. Т. 159. № 2. С. 117-118. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8686>



Аннотация. Изучение состава растворов на основе карбамида и тиокарбамида для попутного извлечения золота из медьсодержащих техногенных отходов позволит установить условия эффективного выщелачивания металлов в присутствии азотсодержащих органических оснований из техногенных отходов горного производства, снизить экологическую нагрузку, получить дополнительное количество товарной продукции и использовать хвосты выщелачивания в строительной промышленности.

Ивановская Е.В. Физико-химические особенности переработки брикетированного медно-никелевого концентрата // Записки Горного института. 2004. Т. 159. № 1. С. 148-150. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8744>



Аннотация. В связи с предстоящим изменением состава сырья, перерабатываемого в рудно-термических печах плавильного цеха комбината «Печенганикель» (ОАО «Кольская ГМК»), переходом на плавку необоженного брикетированного флотоконцентрата проведена оценка содержания цветных металлов в шлаке. Для этого методом корреляционно-регрессионного анализа были обработаны показатели электропечей плавильного цеха за 2000 г. Установлено, что значимыми факторами для оценки концентрации никеля в шлаке являются концентрации SiO_2 в шлаке и Fe в штейне, а для концентрации кобальта в шлаке – концентрации SiO_2 и MgO в шлаке и концентрации Fe в штейне. Получены регрессионные уравнения, позволяющие рассчитать потери цветных металлов (никеля и кобальта) с отвальным шлаком для новых составов шихты.

Голованов М.Е., Дмитриев С.В. Совершенствование процессов рудо-подготовки медно-никелевых руд // Записки Горного института. 2003. Т. 155. № 1. С. 166-169. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/9097>



Аннотация. На основе данных фабричного опробования цикла измельчения обогатительной фабрики «Печенганикель» выполнен анализ granulометрических характеристик продуктов измельчения – классификации. На основании этого анализа и математических моделей аппаратов исследован технологический процесс измельчения с целью его оптимизации. Выработан ряд рекомендаций по оптимизации работы измельчительного и классифицирующего оборудования, разработаны предложения по реконструкции цикла измельчение – классификация, созданы режимные карты для процесса измельчения с учетом роста производительности.

Технологические процессы и аппаратурно-технологические комплексы

Половина всей производимой меди используется в электротехнической промышленности. Основное количество меди получают из первичного сырья, но весьма значительна доля меди, производимой и из вторичного сырья. Для получения меди применяют медные руды, а также отходы меди и ее сплавов.



Модель толчеи с двумя ставами. Гейер, 1870 г. Из коллекции Горного музея.

Сивенков А.В. Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов // Записки Горного института. 2014. Т. 209. С. 244-248. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5319>



Аннотация. Изложены основные результаты химико-термической обработки конструкционных сталей в среде растворов тугоплавких металлов в легкоплавких металлах с целью нанесения защитных коррозионностойких покрытий. Приведены результаты коррозионных испытаний сталей с никелевыми, никель-медными и никель-хромовыми покрытиями на стойкость против общей коррозии, коррозионного растрескивания и склонности к межкристаллитной коррозии.

Танков М.С., Шелковый И.С. Опыт отработки запасов руды в бортах и дне карьеров при переходе с открытого способа разработки на подземный // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 37-42. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5911>



Аннотация. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний технологии отработки прикарьерных и придонных запасов медных сульфидных руд в различных условиях на рудниках ОАО «Учалинский ГОК». Описана технология отработки прибортовых запасов на Сибайском подземном руднике открытой камерой (прирезкой) с отгрузкой руды через подземные выработки, а также технология и порядок выемки придонных и прибортовых запасов на Учалинском подземном руднике.

Каландров П.И., Искадаров Б.И., Абриев Б.С. Проектное решение технологии обогащения полиметаллических руд на меднообогатительной фабрике ГОК «Хандиза» // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 243-248. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5952>



Аннотация. Рассматриваются вопросы проектного решения и технология обогащения медно-обогатительной фабрики ГОК «Хандиза». Показана коллективно-селективная схема обогащения, заданная производительность поддерживается плавным регулированием скоро-стиподбункерным питателем по показаниям конвейерных весов; рассмотрен помол, который достигается в три стадии, а также расчет и выбор оборудования для реагентного и основного хозяйства.

Ковалев В.Н. Современные технологии концентрирования платиновых металлов из техногенных отходов переработки сульфидных медно-никелевых руд // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 284-287. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6543>



Аннотация. Проведен обзор перспективных техногенных источников платиновых металлов и современных технологий их переработки. Обоснована необходимость внедрения новых методов вовлечения в производство техногенного платиносодержащего сырья.

Бодуэн А.Я., Иванов Б.С., Коновалов Г.В. Влияние повышения качества медных концентратов на эффективность их переработки // Записки Горного института. 2011. Т. 192. С. 46-48. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6314>



Аннотация. На сегодняшний день в нашей стране, также как практически во всех странах мира, вследствие интенсивной разработки месторождений цветных металлов в значительной степени отработаны запасы богатых и легкообогатимых руд. В переработку вовлекают рудное сырье со сравнительно низким содержанием ценных компонентов, тонковкрапленное и соответственно трудно поддающееся обогащению. Кроме того, после распада Советского Союза за рубежом оказались более легкообогатимые руды и основными источниками получения медных и цинковых концентратов в России стали колчеданные медно-цинковые, комплексные руды, которые обогащаются с более низкими показателями. В то же время металлургическое производство с каждым годом предъявляет все более высокие требования к качеству концентратов, удовлетворить которые можно только с применением комбинированных обогатительных, химических, гидро- и пирометаллургических технологий.

Данилов Н.В., Кадыров Э.Д. Применение нечеткой логики для моделирования процесса плавки медно-никелевого концентрата в печи Ванюкова // Записки Горного института. 2011. Т. 192. С. 107-110. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6331>



Аннотация. Разработана методика оценки содержания меди в штейне с использованием теории нечеткой логики. Приведена модификация алгоритмов нечеткой логики – построение базы правил процесса на основе статистических данных работы печи.

Мещеряков Э.Ю. Обоснование технологических решений при подземной разработке медно-колчеданных месторождений Урала // Записки Горного института. 2009. Т. 180. С. 169-171. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7119>



Аннотация. Одним из наиболее востребованных отечественной промышленностью цветных металлов является медь, основные запасы которой представлены медно-колчеданными рудами месторождений Уральского региона. Рост производительности подземных рудников, разрабатывающих медно-колчеданные месторождения, сдерживается сложными геомеханическими условиями горных работ. Проведен анализ горно-геологических и геомеханических условий разработки медно-колчеданных месторождений, определена целесообразность формирования системы управления состоянием массива, представлены результаты геомеханических исследований по обоснованию адаптивных технологических схем подземной разработки.

Николаев А.К., Авксентьев С.Ю. Реологическая модель течения высококонцентрированной гидросмеси // Записки Горного института. 2008. Т. 178. С. 73-76. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7200>



Аннотация. Выполнены экспериментальные исследования реологических свойств высококонцентрированной гидросмеси хвостов обогащения медно-цинковой руды; дано математическое описание движения ее в напорном трубопроводе.

Демьянов С.Е. Обоснование параметров технологического оборудования при гидравлическом транспортировании высококонцентрированных гидросмесей // *Записки Горного института*. 2007. Т. 173. С. 75-79. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7559>

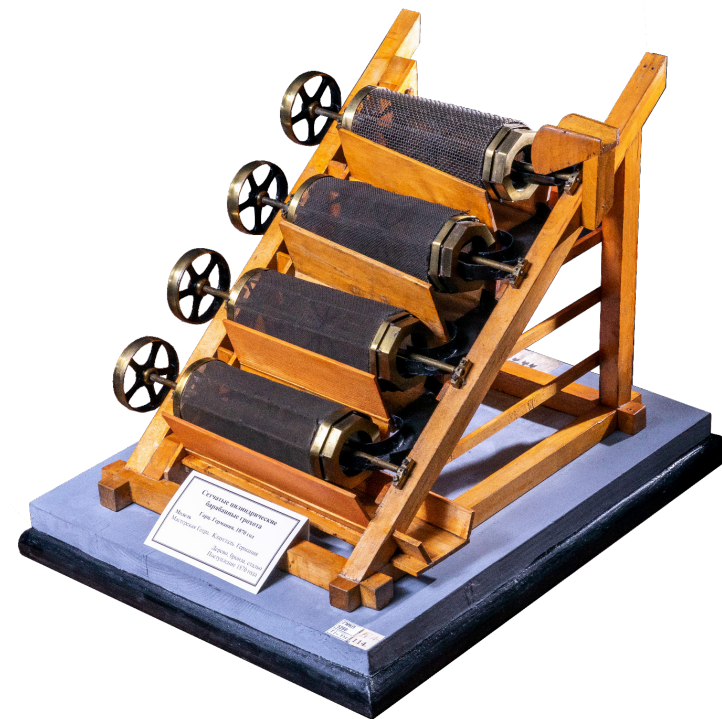


Аннотация. При транспортировании высококонцентрированных гидросмесей важной задачей является выбор реологической модели, на основе которой будут определены основные параметры гидротранспорта. Попытки исследователей использовать реологические модели чистых жидкостей для расчета высококонцентрированных смесей редко приводили к положительным результатам. Суть проблемы заключается в сложности, а иногда и в невозможности определения основных реологических параметров, таких как начальное напряжение сдвига, эффективная динамическая и пластическая вязкости. Во многих статьях представлены результаты таких исследований. Чаще всего встречается модель Хершеля-Баклея и две разновидности модели Бингама. В нашем случае предпочтительнее использовать модель Бингама. В статье представлена методика расчета параметров гидравлического транспортирования высококонцентрированных гидросмесей, основанная на разработанной ранее математической модели для транспорта таких гидросмесей. В основе методологии лежит предположение, согласно которому в объеме высококонцентрированной гидросмеси образуется тело потока с переменным значением концентрации твердых частиц и вязкости. Исследования, проведенные в лабораторных и промышленных условиях на примере хвостов обогащения медной руды, подтверждают идентичность расчетных и опытных результатов, что позволяет использовать эту модель для расчета гидравлического транспорта высококонцентрированных гидросмесей.

Ляпищев Ю.Б. Современное состояние переработки электролитных шламов медного производства // *Записки Горного института*. 2006. Т. 167. № 2. С. 245-247. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8014>



Аннотация. Рассмотрены основные технологические схемы переработки электролитных шламов медного производства. Показаны основные достоинства и недостатки схем спекания, обжигово-селенидной технологии, сульфатизационной и комбинированной технологии, а также рассматриваются возможности технологической схемы с использованием азотно-кислого выщелачивания.



Действующая модель сетчатых цилиндрических барабанных грохотов. Германия. 1870 г. Из коллекции Горного музея.

Зайцев Ю.А., Иванов В.А. Исследование поведения меди при осаждении теллура из сульфидно-щелочных растворов // Записки Горного института. 2006. Т. 169. № 4. С. 120-123. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7864>



Аннотация. С использованием радиоактивных изотопов меди и теллура изучалась возможность перехода меди в сульфидно-щелочные растворы теллура. Исследованы варианты очистки таких растворов от меди и предложен метод, позволяющий выделить медь в виде оборотного продукта. Применение метода к промышленным растворам позволяет сульфитом натрия осадить из очищенного раствора теллур, содержащий тысячные доли процентов меди, уверенно обеспечивая соответствие марке Т-1.

Демьянов С.Е. Влияние тонкодисперсных фракций на гидрокрупность твердых частиц хвостов обогащения медной руды // Записки Горного института. 2006. Т. 167. № 1. С. 168-170. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8097>



Аннотация. Трубопроводный гидравлический транспорт широко применяется в шахтах, карьерах, обогатительных фабриках и на внешних коммуникациях предприятий для перемещения различных горных пород. В смеси с водой угли и породы, отличающиеся гранулометрическими и петрографическими характеристиками, дают различные виды гидросмесей, для которых характерны определенные закономерности движения в трубопроводах. К таким гидросмесям относятся хвосты обогащения медной руды, для которых проведены исследования по гранулометрическому составу и гидравлической крупности. Также выведена формула для расчета коэффициента формы частиц и найдено его значение для рассматриваемой гидросмеси.

Шнейерсон Г.А., Кривошеев С.И., Ненашев А.П. Установка автоматической сортировки смешанного цветного лома по сортам цветных металлов // Записки Горного института. 2005. Т. 166. С. 223-225. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8213>



Аннотация. Разработан опытный образец магнитно-импульсного сепаратора. Технология автоматического извлечения цветного металла из засоренного металлического лома предусматривает одновременную сепарацию по плотности (отделение алюминия и его сплавов от меди, медных и цинковых сплавов). Предложенный метод сепарации может быть использован для обработки промышленных и бытовых отходов, загрязненных цветным металлом (например, старых холодильников, стиральных машин, легковых и грузовых автомобилей, бытовых отходов, содержащих пивные банки и т.п.).

Серегин П.С., Румянцев Д.В., Максимов Д.Б. Совершенствование конструкции печей обжига медного концентрата с использованием метода физического моделирования // Записки Горного института. 2005. Т. 165. С. 160-162. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8280>



Аннотация. Представлены данные по физическому моделированию печей кипящего слоя для обжига медного концентрата от разделения фэйнштейна. На основе соблюдения критериев подобия построена физическая модель печи кипящего слоя для изучения свойств псевдооживленного слоя и влияния различных факторов на его свойства. Исследовано влияние ввода оживляющего агента в дутьевую коробку на неравномерность псевдооживления материала в печи.

Федоров М.С., Цымбулов Л.Б., Цемехман Л.Ш. Некоторые закономерности переработки сульфидных медно-никелевых концентратов с повышенным содержанием оксида магния путем окислительной плавки // Записки Горного института. 2005. Т. 165. С. 198-200. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8291>



Аннотация. Приведены результаты исследования технологии окислительной плавки рудного концентрата комбината «Печенганикель» с повышенным содержанием оксида магния. Эксперимент выполнен в лабораторных условиях и на укрупненной установке с верхним кислородным дутьем на штейны различного состава. Исследован процесс обеднения полученных шлаков. Представлены результаты исследований шлаков методом рентгеноспектрального микроанализа.

Поликарпов В.К., Ронин А.Л., Елисеев А.А., Захаров С.Н., Штокаленко М.Б., Козлов С.А. Технология прогнозно-поисковых работ на сульфидные медно-никелевые руды с металлами платиновой группы // Записки Горного института. 2005. Т. 162. С. 42-44. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8421>



Аннотация. Разработана концепция прогноза и поисков сульфидных медно-никелевых месторождений. На основе этой концепции создана технология прогноза и поисков с использованием комплекса геохимических и геофизических данных (грави-, магнито- и электроразведки). Новизна заключается в том, что реализована методология от «общего к частному», т.е. от построения геолого-геофизической модели изучаемого района и модели рудно-магматической системы к отдельно взятому рудному телу. Эффективность технологии доказана в Мончегорском рудном районе, где получен прирост прогнозных ресурсов меди, никеля и металлов платиновой группы. Удельные затраты на выявление единицы прогнозных ресурсов составляют 0,22 USD/т, или 0,003 % от стоимости выявленных ресурсов.

Фокеева И.Г., Цымбулов Л.Б., Ерцева Л.Н. Исследование закономерностей кристаллизации фанштейнов с повышенным отношением меди к никелю // Записки Горного института. 2005. Т. 165. С. 201-202. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8292>



Аннотация. Изучены закономерности кристаллизации фанштейнов с отношением меди к никелю (0,7-2,3):1, охлажденных в режиме, близком к промышленному. Установлено, что высокомедистым фанштейнам (Cu:Ni > 1,6:1) свойственен иной порядок кристаллизации структурных составляющих, чем традиционным медно-никелевым фанштейнам с преобладающей долей никеля. Показана необходимость выбора для медистых фанштейнов другого режима охлаждения.

Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Лагов Б.С., Живаева А.Б. Технологические решения повышения эффективности использования недр // Записки Горного института. 2005. Т. 161. С. 120-122. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8476>



Аннотация. Предложен рациональный ряд технологических решений, направленный на повышение эффективности изучения и освоения месторождений и включающий семь этапов: прогнозную оценку контрастности руды в недрах, оценку контрастности добытой руды исходной крупности, оперативную технологическую оценку полученных сортов, рудо-подготовку с применением аппаратов центробежно-ударного типа, максимальное использование гравитационных процессов с полным или частичным уходом от флотационных схем, обогащение технологических сортов, полученных при крупнокусковом обогащении, в отдельных циклах, применение биотехнологических методов. Приведен комплекс инновационных технологий для золото-сульфидных, золото-кварцевых, медно-серебряных руд и медных руд с золотой минерализацией. Разработанный рациональный ряд технологических решений использован при создании концепции развития сурьмяной промышленности Республики Саха (Якутия).

Кривошеев С.И., Ненашев А.П., Шнеерсон Г.А. Электромагнитный импульсный сепаратор цветных металлов для переработки автомобильного лома и лома бытовой техники // Записки Горного института. 2004. Т. 158. С. 233-235. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/8845>



Аннотация. Разработана технология автоматического извлечения цветного металла из засоренного металлического лома при одновременной сепарации по плотности (отделение алюминия и его сплавов от меди, медных и цинковых сплавов).

Предложенный метод сепарации может быть использован для обработки промышленных и бытовых отходов, загрязненных цветным металлом (например, старых холодильников, стиральных машин, легковых и грузовых автомобилей, бытовых отходов в виде пивных банок и т.п.). Разработан опытный образец магнитно-импульсного сепаратора.

Физическая химия, обогащение меди

Медная руда является одним из самых богатых металлических минеральных ресурсов в мире. Но большая часть руд в естественном состоянии непригодна для непосредственной переработки, а обогащение помогает повысить концентрацию полезного элемента. Иногда при обогащении руды с пустой породой удаляется часть вредных примесей. По своему существу обогащение – это механический процесс разделения частичек руды, представляющих либо полезный минерал, либо пустую породу.



*Пентландит-малахитовая руда. Талнахское месторождение, г. Норильск.
Из коллекции Горного музея.*

Курчуков А.М. Алгоритм управления реагентным режимом флотации медно-никелевых руд на основе оптимизации параметров ионного состава пульпы // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 292-294. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6545>



Аннотация. В статье рассмотрено управление реагентным режимом флотации медно-никелевых руд, предложено учитывать в алгоритме управления остаточную концентрацию ионов диметилдитиокарбамата натрия (ДМДК) в пульпе. Управление расходом ДМДК по результатам определения остаточной концентрации его ионов в пульпе обеспечивает оптимизацию реагентного режима и позволяет повысить качественные показатели процесса флотации медно-никелевых руд с одновременным снижением материальных затрат на осуществление операции.

Курчуков А.М., Кордаков В.Н. Автоматизированная система управления процессом флотации медно-никелевых руд // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 295-298. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6546>



Аннотация. В статье предложена функциональная схема и методика расчета автоматизированной системы управления процессом флотации медно-никелевых руд, основанные на оптимизации реагентного режима и параметров пенообразования. Их использование на стадии проектирования системы управления гарантирует повышение эффективности процесса флотации и увеличение качественных показателей обогащения.

Пурэвдаш М. Перспективы гидрометаллургической переработки окисленных медных руд и сульфидных медных концентратов как составная часть новой технологии комплексной переработки месторождения «Эрдэнэтийн Овоо» // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 313-316. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6551>



Аннотация. Рассмотрен вопрос о возможности увеличения глубины переработки сырья месторождения «Эрдэнэтийн Овоо» и накопления значительного количества убогих труднообогатимых руд во внешних отвалах карьера «Эрдэнэтийн Овоо» путем применения отвального и кучного выщелачивания окисленных, смешанных и забалансовых руд. Приведена информация о запасах труднообогатимых руд месторождения «Эрдэнэтийн Овоо». Приведены показатели прогнозного извлечения меди из медных сульфидных руд отвалов № 6 и № 2 рудника «Эрдэнэтийн Овоо» при сернокислотном выщелачивании. Проанализированы опыты применения методов гидрометаллургической переработки некондиционных медных руд из практики работы предприятий России, США и Мексики.

Пурэвдаш М., Салтыкова С.Н., Теляков Н.М. Биогидрометаллургическая переработка медных сульфидных руд месторождения «Эрдэнэтийн Овоо» // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 317-319. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6552>



Аннотация. Изучен процесс бактериального выщелачивания медных сульфидных руд месторождения «Эрдэнэтийн Овоо». Проведены исследования влияния крупности руды, pH среды бактериального раствора, количества бактерий в бактериальном растворе на извлечения меди при бактериальном выщелачивании.

Белоглазов И.Н., Доливо-Добровольская Г.И., Салтыкова С.Н. Изучение вещественного состава медно-никелевого сульфидного сырья // Записки Горного института. 2006. Т. 169. № 4. С. 63-65. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7848>



Аннотация. Для установления физико-химической природы фаз в штейнах и фанштейнах, необходимо рассмотреть бинарные системы Cu-S, Ni-S, Fe-S, ибо структурные составляющие в этих системах могут служить фазами в штейнах и фанштейнах, а также являться началом при образовании в них новых фаз.

Горленков Д.В., Печерский П.А., Рубис С.А., Теляков Н.М. Способ растворения медно-никелевых анодов, содержащих благородные металлы // Записки Горного института. 2006. Т. 169. № 4. С. 108-110. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7860>

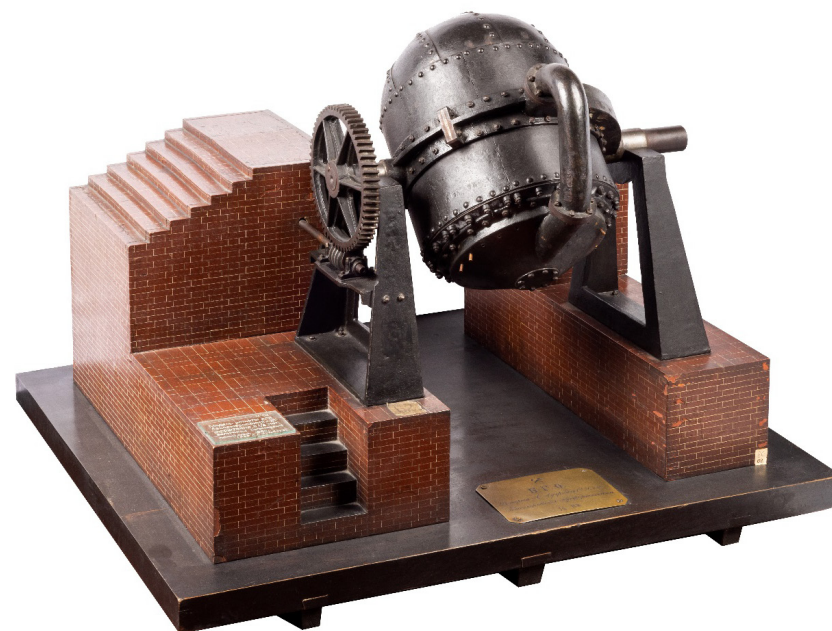


Аннотация. В статье отражены основные аспекты определения потенциалов растворения сплавов на основе меди и никеля, содержащих драгоценные металлы, в лабораторных условиях и выбор электролита для их растворения. Приведены состав исследуемого анода, графики зависимости полученных потенциалов от времени и напряжения. Объясняется влияние некоторых примесей на ход процесса. Сделан вывод о рациональности использования соляно-кислого электролита.

Зиязитдинова О.В., Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Пантюшин И.В. Применение пресс-фильтров на стадии обезвоживания медно-никелевых концентратов // Записки Горного института. 2006. Т. 169. № 4. С. 124-126. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7865>



Аннотация. Описана работа и система управления современных пресс-фильтров на примере фильтров Laroх PF, установленных в цехе обжига комбината «Печенганикель». Выделены основные задачи улучшения и оптимизации работы пресс-фильтров и предложен способ их решения путем составления регрессионных зависимостей для основных характеристик работы фильтров на основании экспериментальных данных.



Модель реторты системы А.А. Ауэрбаха. 1887 г.
Из коллекции Горного музея.

Павлюк Д.А. Совершенствование технологии плавки кеков огарков никелевых и медных шламов в металлургическом цехе медного завода ГМК «Норильский Никель» // Записки Горного института. 2006. Т. 169. № 4. С. 167-169. <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7879>



Аннотация. В ГМК «Норильский Никель» в технологии получения концентратов платиновых металлов используется процесс плавки кеков огарков медного и никелевого шламов на вторичные аноды. Процесс характеризуется высокой температурой, низкой устойчивостью футеровки (рабочая кампания печи 7 сут) и значительным выделением пылегазовой смеси. В лабораторных условиях разработан состав шихты, позволяющий снизить температуру процесса плавки на 200-250 °С. Для достижения этого результата предлагается проводить процесс плавки с образованием шлаков, которые по кислотности находятся между силикатными и бисиликатными. Данные шлаки характеризуются низкой температурой плавления и вязкостью, что обеспечивает снижение потерь с ними платиновых металлов.

Научное издание

**ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ.
МЕДЬ**

Дайджест

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

№ 9 • 2024

Ответственный за выпуск *С.В. Синявина*

Составитель *П.В. Котова*

Компьютерная верстка *С.А. Лысенко*

Фотографии предоставлены Горным музеем
(фотограф *П.В. Долганов*)

Издательский дом
Санкт-Петербургского горного университета
императрицы Екатерины II
<https://pmi.spmi.ru>

Горный музей
<https://museum.spmi.ru>



Запрос на составление дайджеста по интересующей тематике
можно направлять на pmi@spmi.ru

