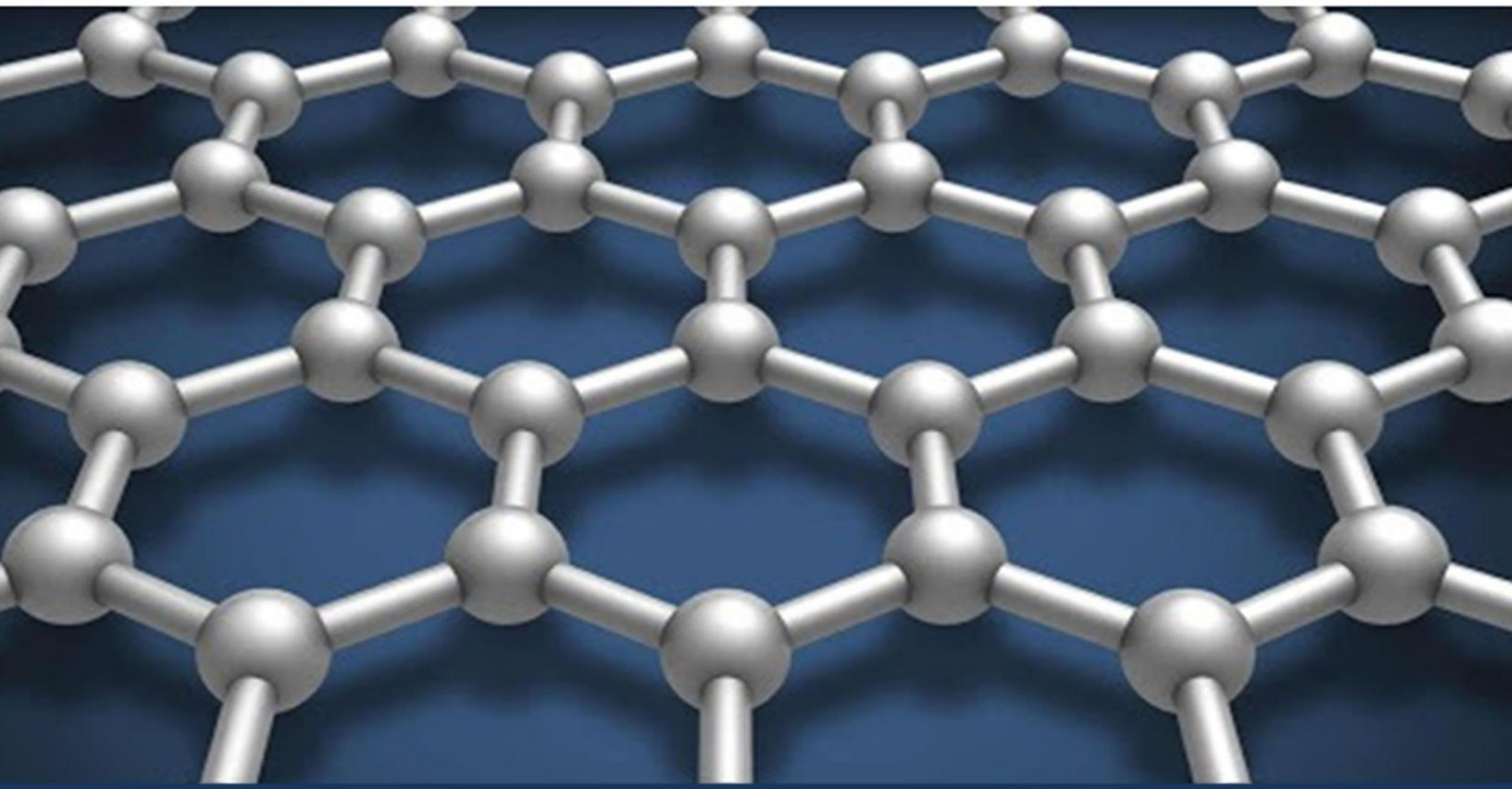
ISSN 2091-5527
№ 3/2025

O‘zbekiston

Kompozitsion Materiallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

Результаты и их обсуждение: Интенсификация процессов позволяет повышать извлечение и селективность при снижении ресурсопотребления [3, 5]. Комбинированные окислительно-восстановительные системы сокращают расход агрессивных реагентов, стабилизируют потенциал среды и уменьшают солевую нагрузку на контуры водоподготовки [1, 4].

Биовыщелачивание с механоактивацией, тонким измельчением и ультразвуковым или микроволновым воздействием повышает доступность металлов при неизменной или сниженной дозе реагентов [5]. Пирометаллургия в сочетании с гидро- и сорбционными процессами позволяет перераспределять экологические нагрузки и выравнивать профиль рисков [1, 4].

Современные сорбенты и мембранные технологии создают возможность замкнутых водных контуров с регенерацией элюентов, а электрохимические методы минимизируют образование трудно-утилизируемых осадков [3, 5]. Интенсификация процессов затрагивает экологические показатели, что требует синхронного проектирования технологических и экологических систем, оценки жизненного цикла, углеродного и водного следа, энергоёмкости и токсикологической безопасности побочных продуктов [4].

Заключение: переход к «зелёным» технологиям с замкнутыми циклами, селективными низкоотходными методами и цифровым мониторингом обеспечивает устойчивое, экономически обоснованное и социально приемлемое использование ресурсов [1,3,5]. Интеграция биовыщелачивания, комбинированных пиро- и гидрометаллургических схем, сорбционных и мембранных процессов сокращает совокупный экологический след и повышает рентабельность переработки [2, 4, 5].

Развитие экологически безопасных и эффективных технологий переработки техногенного сырья позволяет снизить давление на природные месторождения, минимизировать накопление отходов и обеспечить социально и экономически устойчивое использование платиновых металлов [1, 2, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарипов Х.Т., Борбат В.Ф., Даминова Ш.Ш. и др. Химия и технология платиновых металлов. -Т: Фан, 2018.
2. Некрасов А.В., Куликов В.И. Переработка вторичных ресурсов, содержащих ПГМ//Металлы.-2020.-№4. -С.32–37.
3. Grosse A., Friedrich B. Recovery of precious metals from spent materials using environmentally sound processes. // Journal of Cleaner Production. - 2021. - Vol. 280.
4. Кондратьев В.В. Экологическая безопасность металлургических процессов. -М.: Металлургия, 2019.
5. Zhao F., Song Y, Wang L. Bioleaching of platinum group metals: a review. // Minerals Engineering. - 2020. - Vol. 158.

УДК 669.333.4

МИКРОСТРУКТУРНОЕ И ФАЗОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАКА ДОННОЙ КОРКИ КИСЛОРОДНО-ВЗВЕШЕННОЙ ПЛАВКИ МЕДИ НА СТАДИИ ШЛАКООТВОДА

Сайназаров А.М., Маткаримов С.Т., Мухаметджанова Ш.А., Носирходжаев С.К.

Аннотация. В работе исследована микроструктура и фазовый состав донной корки шлака, образующейся при кислородно-взвешенной плавке меди на стадии транспортировки ковша. Установлено наличие зон с различным содержанием меди и пористостью. Максимальная концентрация меди выявлена в сульфидсодержащей зоне, что указывает на унос капель штейна в процессе кристаллизации шлака. Результаты могут быть использованы для оптимизации технологических условий и снижения потерь меди.

Ключевые слова: шлаковая корка, кислородно-взвешенная плавка, медь, сульфидные фазы, микроструктура, осаждение, потери металлов, SEM-EDS, XRD.

Введение. Донная корка шлака, образующаяся на дне ковша после кислородно-взвешенной плавки меди, представляет собой важный объект исследования с точки зрения потерь цветных металлов, особенно меди. При сливе шлака и его транспортировке к месту шлакоотложения происходит сегрегация фаз, сопровождаемая образованием зон с различной микроструктурой и химическим составом. Наличие сульфидных включений, различная пористость и градиенты состава в толще донной корки могут указывать на механизмы осаждения капель штейна, обеднение шлака или процессы кристаллизации в условиях неравновесного охлаждения. Детальное исследование таких структур позволяет оценить эффективность процесса извлечения меди и оптимизировать условия плавки [1, 2].

В настоящей работе была проведена комплексная характеристика шлака донной корки ковша на разных уровнях его сечения с целью определения фазового состава, микроструктурных особенностей, распределения меди и других элементов, а также возможных причин их накопления.

Объектом исследования является проба шлаковой корки, образовавшаяся на дне ковша в процессе кислородно-взвешенной плавки меди на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». Исследование охватывает разные зоны поперечного сечения корки, сформировавшиеся в ходе заливки и транспортировки шлака, с акцентом на изучение микроструктуры, фазового состава и распределения меди.

Материалы и методы исследования. На разрезе рисунка 1 снизу вверх можно выделить четыре зоны: зона «D» примыкает к стальной стенке и днищу ковша; две зоны, отмеченные буквой «B», практически идентичные по химическому составу и микроструктуре, высокопористые, богатые сульфидами и разделенные границей раздела «C»; зона «A» - часть объемного шлака. Каждую зону исследовали отдельно для получения информации о её микроструктуре, фазовом составе и количестве меди.

Зона A образца представляет собой верхнюю часть поперечного сечения, наиболее удаленную от днища ковша. Типичная микроструктура этой зоны представлена на рисунке 2. Между дендритами фаялита можно наблюдать шлак, богатый SiO_2 (с содержанием SiO2 ~80 мол. %). Фазу магнетита с растворенными алюминием (Al) и титаном (Ti), отмеченную как «FeO» на рисунке 1, обычно можно увидеть в этой зоне в виде больших кристаллов отчётливых геометрических форм.

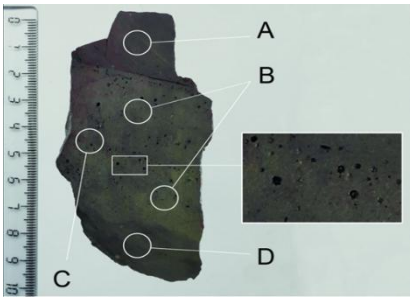


Рис. 1. Разрез образца №9

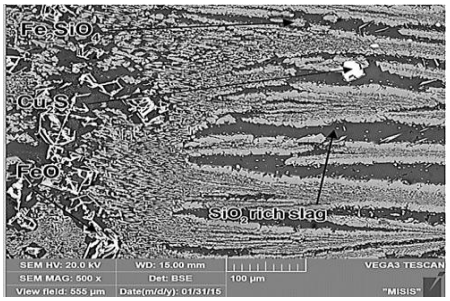


Рис.2. Микроструктура зоны A

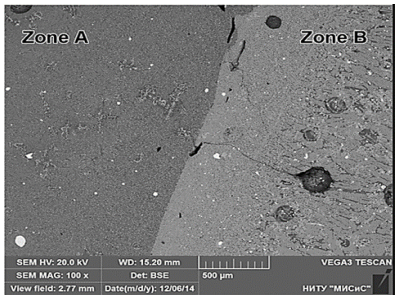


Рис. 3. Граница зон A и B

Количества меди в зоне A, обнаруженные методами РФА и титрометрии, составляют 1,2 (±0,02) и 1,16 (±0,01) мас. % соответственно. Граница между зонами A и B показана на рисунке 3. Видно, что граница очень тонкая (несколько мкм), а также очень хрупкая.

На рисунке 4 показано изменение содержания Fe, Cu, Si, Al и S в зонах A и B, сканированных по линии, отмеченной на микрофотографии. Зона A более богата содержанием Si и Al, но обеднена содержанием Fe. Также видно, что внутри зоны B имеется подзона с повышенным содержанием меди и серы (частица Cu-S).

Элементное картирование Cu, Fe, K, S и Si показано на рисунке 5. Этот рисунок наглядно демонстрирует, что в зоне B (правая часть рисунков) количество S, Cu и Fe больше. чем в зоне A (левая сторона). На рисунке 21 видно, что медь присутствует в шлаке в виде рассеянных частиц сульфида.

Зона B формируется в середине нижней коры. Эта зона более пористая, чем зоны A и D, и имеет цвет, отличный от остальных. Как видно на рисунках 1,2 и 3, зона вблизи границы раздела неоднородна.

Типичная микроструктура этой зоны вдали от границы представлена на рисунке 1. По данным РФА и титрования среднее количество меди в этой зоне составило 2,29 (±0,04) и 2,18 (±0,03) мас. % соответственно.

На рисунке 6 представлена зона C, которая представляет собой зону сопряжения посередине двух зон B (рис.7). Фазовый состав с обеих сторон границы раздела одинаков, но размер кристаллов значительно меньше. Сама граница состоит преимущественно из оксида железа, скорее всего Fe_2O_3, с включениями сульфидов. Не совсем ясно, как на самом деле образовалась эта линия сопряжения. Возможно, причина кроется в точном порядке и сроках заливки жидкого шлака в ковш. Небольшая часть расплавленного шлака могла сливаться в ковш, кристаллизоваться при контакте с кислородом атмосферы [3], а затем выливаться остальной шлак. Это может объяснить наличие слоя оксидной пленки и меньший размер зерна. Ширина границы оксида железа значительно больше, чем у границ зон A–B, и составляет около 20 мкм.

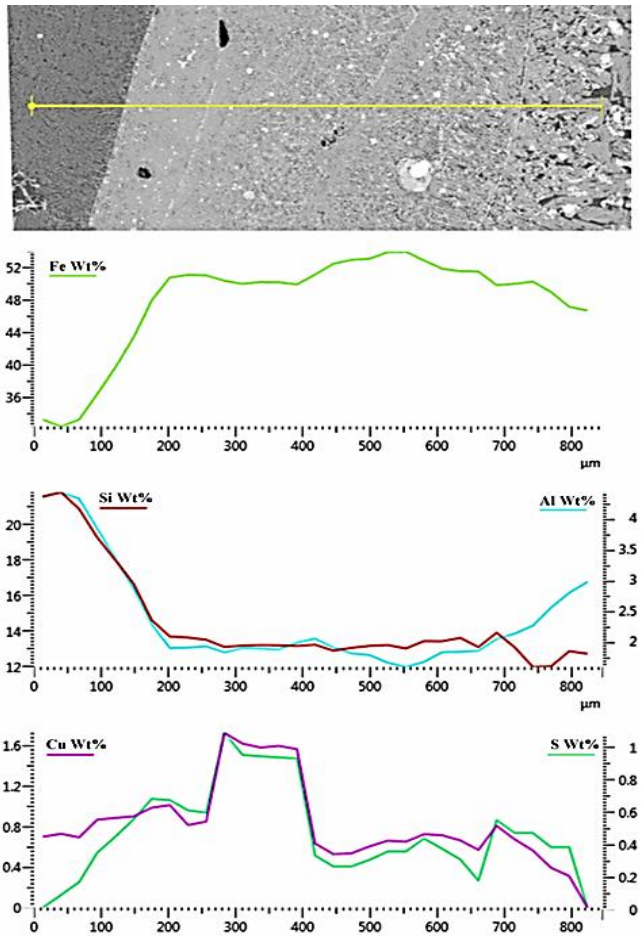


Рисунок 4. Распределение элементов на границе зон A и B

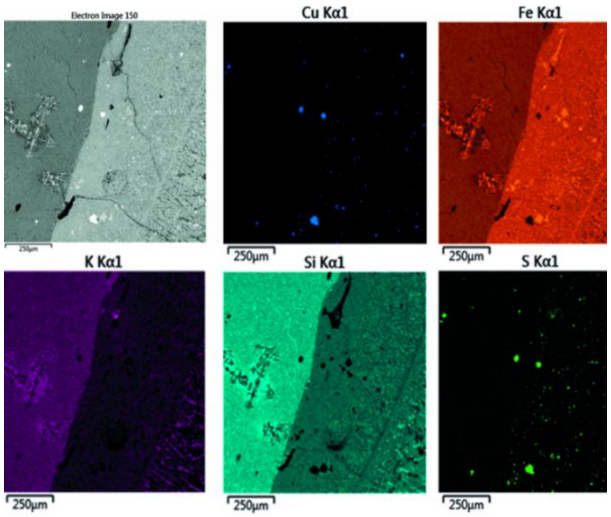


Рисунок 5. Элементарное отображение границ зон A и B

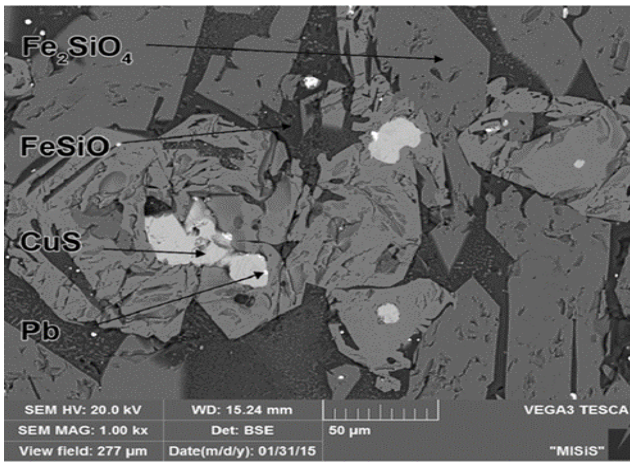


Рисунок 6. Микроструктура зоны C

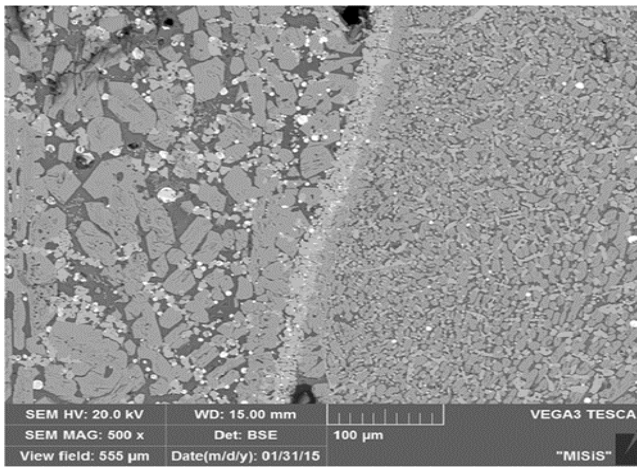


Рисунок 7. Микроструктура зоны B, близкая к границе раздела C

Зона D образца расположена ближе всего к днищу ковша. Из-за высокой скорости охлаждения этот шлак очень быстро затвердевает, и образец имеет мелкодисперсную микроструктуру. На рисунке 8 видно, что кристаллы фаялита действительно очень мелкие (оценочный размер составляет от 0,6 до 0,8 мкм). Количество меди в зоне D, определенное методами РФА и влажной химии, составляет 0,93 (±0,02) и 0,85 (±0,01) мас. % соответственно.

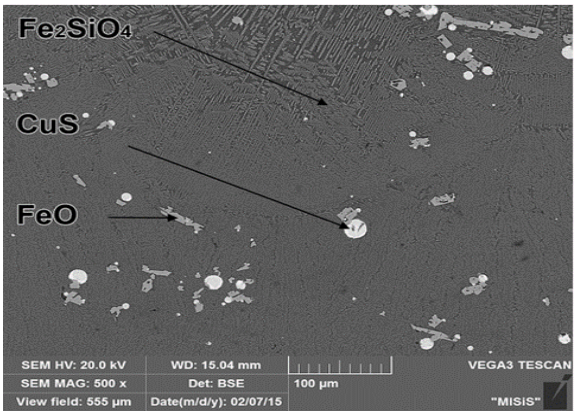


Рисунок 8. Микроструктура зоны D

Исследование микроструктуры показало, что формирование нижней коры происходит в несколько стадий. Прежде всего, зона D образуется при начале заливки шлака в ковш. Из-за высокого температурного градиента он сразу затвердевает и образует закаленный слой шлака. При заполнении ковша остатками шлака при охлаждении выпадают в осадок ранее растворенные в шлаке сульфиды [4]. Со временем капли сульфида оседают на дно ковша, затвердевают и образуют зону B, богатую медью и серой. При транспортировке ковша к месту осаждения процессу осаждения сульфидов способствуют гравитация и вибрации вагонеток. По мере образования корки прилегающий к ней шлак может оставаться жидким. Происхождение твердой границы раздела между двумя зонами B не установлено.

Обсуждение результатов исследования. Микроскопическое исследование показало, что все образцы шлака содержат частицы сульфида меди разного размера: от десятков до сотен мкм. Эти частицы выделяются из жидкого шлака во время кристаллизации шлака при охлаждении. При этом очевидно, что кристаллизация образцов шлака в процессе выплавки меди происходила в неравновесных условиях. Даже в этом случае моделирование термодинамического равновесия в шлаках может предоставить интересную информацию об условиях и производительности процесса. В дополнение к этому, расчеты скорости осаждения частиц сульфида на основе прогнозируемой вязкости шлака также могут дать некоторое представление о уносе капель штейна жидким шлаком.

Заключение. На основе проведённого микроструктурного и фазового анализа установлено, что донная корка шлака, образующаяся при кислородно-взвешенной плавке меди, имеет выраженную зональную структуру с различной пористостью, составом и содержанием меди. Наиболее высокие концентрации меди (до ~2,3 мас. %) зафиксированы в средней зоне корки, богатой сульфидными фазами Cu-S, что связано с осаждением капель штейна в процессе охлаждения и транспортировки ковша. Наличие тонкой и хрупкой границы между зонами, а также различия в распределении Si, Fe, Al и S, подтверждают неравновесный характер кристаллизации шлака. Полученные данные указывают на необходимость учёта микроструктурных процессов при оценке металлургических потерь и могут быть использованы для оптимизации условий плавки с целью снижения уноса меди со шлаком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.М. Сайназаров, С.Т. Маткаримов, Ш.А. Мухаметджанова, С.К. Носирходжаев Практические исследования разработки эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи с целью увеличения выхода меди в штейн. / Журнал Цветные металлы, №5, 20225. С. 25-33.
2. Development of resource-saving technology for copper production at "Almalyk MMC" JSC S.A., Mukhamedzhanova, Shoira A. S.T., Matkarimov, Sokhibjon Turdalievich
3. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. - Металлургия, Москва. 1969. - 408 с.
4. Mark E. Schlesinger; Kathrun C. Sole; William G. Davenport; Gerardo R.F. Alvear Flores. Extractive Metallurgy of Copper, Hardback ISBN: 9780128218754, 6th Edition – December 2, 2021

Негматов С.С., Исмаилов Р.И., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю., Мусабеков Д.Х. Исследование процесса обессоливание нефтеэмульсии в зависимости от вида и содержания деэмульгаторов ……... 53

Неъматова С.Т., Каттаев Н.Т., Колядин В.Г., Акбаров Х.И. Получение оксида ванадия (V) на основе промышленных отходов …… 56

Якубов М.М., Суннатов Ж.Б., Максудходжаева М.С., Валиев Х.Р. Вовлечение в пирометаллургическую переработку золотосодержащих упорных руд и отходов обогатительных фабрик АО «Алмалыкский ГМК» ……..60

Эминов Аф.А., Эминов А.М., Кадырова З.Р. Обжиг тонкокерамических изделий: режимы и сущность процессов образования структуры ……... 62

Турсунов А.С., Турдиалиев У.М., Оразимбетова Г.Ж. Обогащения глауконитовых руд по методу простого отмучивания …..... 68

Каршиев М., Файзиев М.М. Определение адгезионных свойств лабораторных образцов полученным газопламенным напылением с последующим оплавлением …….. 70

Ochilov M., Mamatkulov N.N., Abdushukurov A.K. Fenil-4-metoksifenoksipropionat sintez usuli va uning texnologik sxemasini ishlab chiqish …… 73

4. Прикладные, экономические и экологические аспект применения композиционных материалов

Абед Н.С., Негматов С.С., Нормуродов А.А., Туляганова В.С., Джабборов Б.Т., Бозорбоев Ш.А. Исследование электрофизических свойств разрабатываемых композиционных полимерных материалов и покрытий на их основе ……76

Фузаилова К.Р. Исследование свойств композиционных материалов, использующихся в раскладках головного убора …….. 79

Bo’rixonov B.X., Rajabova G.R., Berdimurodov E.T., Panjiyev A.X. Uchlamchi aminlar asosida sintez qilingan to’rtlamchi ammoniy tuzlarini kvant-kimyoviy hisoblashlarni amalga oshirish …… 81

Maxkamov B.G‘. Mahalliy xomashyodan sintez qilingan pan/vermikulit kompozitining Cu(II), Ni(II) ionlari bilan sorbsiyasi 86

Тошпулатова Г.Р., Хушвактова У.А., Абдурахимов К.Г., Дехканбаева С.А., Камолов Т.О. Исследование механизма окисления молибденита азотной кислотой ……. 89

Xudoynazarov F.S. Piroliz qurumining termodinamik xossalari …… 93

Lutfullayev S.Sh., Sayfullayev T.X., Xayitov J.K. Qayta ishlangan polietilen asosidagi kompozitlarning mexanik xossalariga somon tolalaring miqdori va o‘lchami ta’siri ……96

Негматов С.С., Мусабеков Д.Х., Исмаилов Р.И., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю. Проведение опытно-производственные испытания разработанных композиционных химических деэмульгаторов для обезвоживании и обессоливании нефти в условиях ООО «Ферганский НПЗ» …… 99

Абдувалиева К.Х. Экологические аспекты интенсификации процесса извлечения платиноидов из техногенного сырья …….. 102

Сайназаров А.М., Маткаримов С.Т., Мухаметджанова Ш.А., Носирходжаев С.К. Микроструктурное и фазовое исследование шлака донной корки кислородно-взвешенной плавки меди на стадии шлакоотвода …….. 103

5. Методы исследовании, приборов и оборудований композиционных материалов

Qarshiyev H.K., Xasanov A.S., Murashkeyevich S.M., Mirzanova Z.A. Eritmadan kobaltni oksidlab-cho‘ktirishning zamonaviy holati va oksidlab cho‘ktirishga ta’sir etuvchi omillarni tadqiq qilish……. 107

Bo’rixonov B.X., Ahmadova R.S., Tojimuhamedov H.S., Panjiyev A.X. Etilenxlorgidrin asosida to’rtlamchi ammoniy tuzlari sintezi va ularni xitozan bilan modifikatsiyasi ……. 113

Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Синтез, идентификация и морфология поверхности нанокомпозита O-g-C_3N_4/ZnO …….. 116

Мнажов А.Н., Абылова А.Ж. Қорақалпоғистон республикаси устюрт текислиги гипс минералларининг кимёвий, физик-кимёвий таҳлил натижалари …… 120