

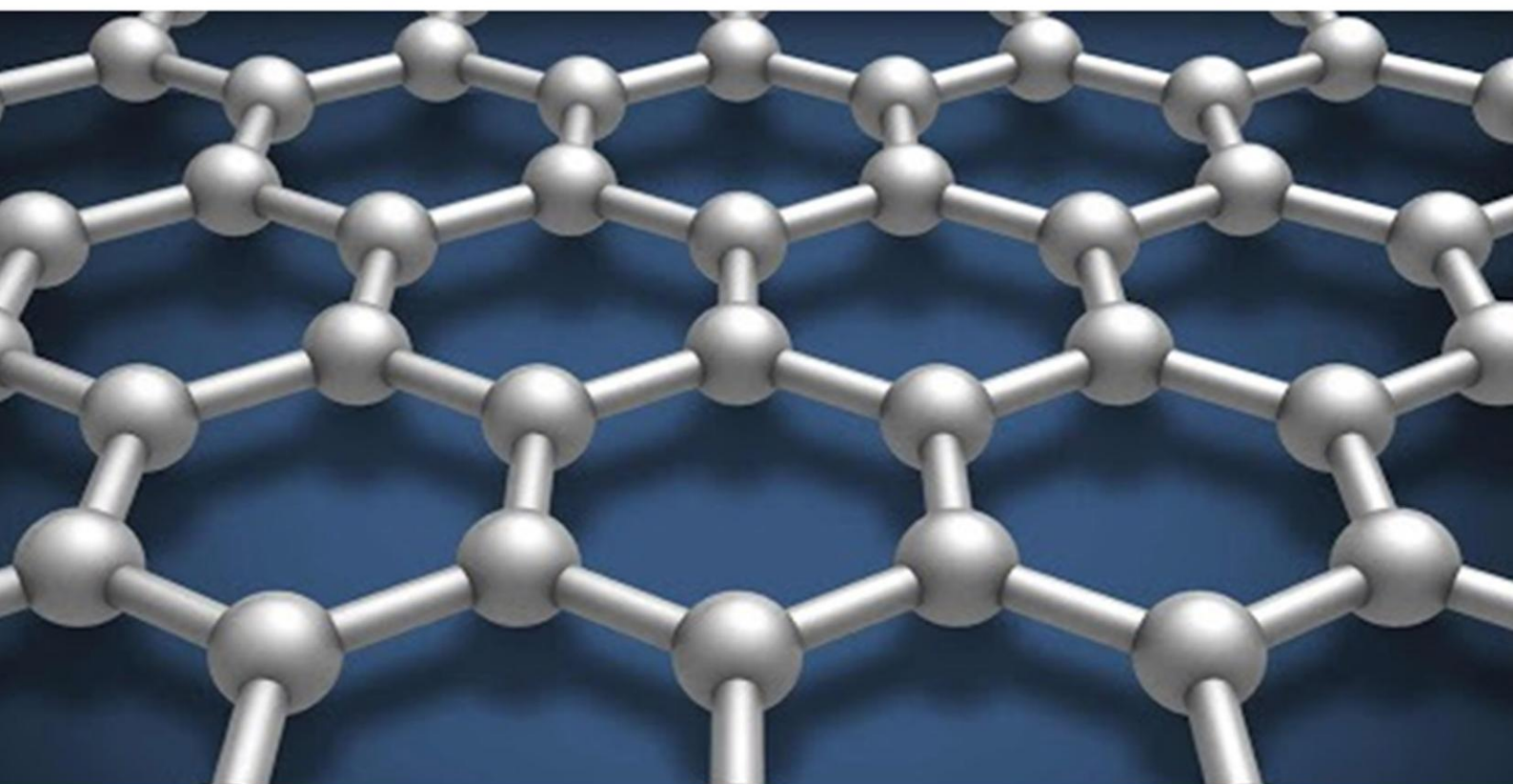
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 622.765:622.2

ТЕХНОЛОГИЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ФЛОТОРЕАГЕНТОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Негматова Комила Сайибжановна

Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт» при ТГТУ им. И.Каримова

Аннотация. В статье приведены технология флотационного обогащения медно-молибденовых руд с применением химических флотореагентов для извлечения медного концентрата и технологическая схема модульной линии производства композиционных химических флотореагентов-вспенивателей на основе местного сырья и отходов производств.

Ключевые слова: флотореагент-вспениватель, флотация, обогащения, медно-молибденовые руды, концентрат, пена, собиратель, минерал, компонент, технология.

Введение. Одной из актуальных проблем мировой и отечественной горно-металлургической отрасли остаётся снижение содержания полезных компонентов в рудах цветных металлов. Это связано с переработкой бедных, труднообогатимых и тонковкрапленных руд. Решение данной задачи во многом определяется совершенствованием стадий обогащения, внедрением новых схем переработки и созданием высокоэффективных флотореагентов, обеспечивающих комплексное извлечение ценных элементов [1].

Металлургия Узбекистана базируется на крупных запасах минерального сырья и занимает важное место в мировой добыче полезных ископаемых. Республика - четвёртая в мире по запасам золота и седьмая по его добыче, входит в первую десятку стран по урану и меди, а также обладает значительными ресурсами серебра, молибдена, висмута, лития, вольфрама и других редких металлов. Из 140 выявленных видов минерального сырья более 60 уже используются в промышленности [2].

Флотация по-прежнему является основным и наиболее универсальным методом обогащения руд. Ежегодно в мире данным способом перерабатывается около одного миллиарда тонн руд [3].

Порфировые медно-молибденовые руды представляют собой основную категорию перерабатываемого сырья, обеспечивая получение концентратов меди, молибдена, а в отдельных случаях - и пирита. Для таких руд характерны относительно крупные вкрапления молибденита и пирита при одновременном наличии мелкокрапленных медных минералов, что требует применения стадийных схем обогащения. Согласно этим схемам, при первичном измельчении руды до 45–55 % класса – 0,074 мм выделяют коллективный медно-молибденовый концентрат и отвальные хвосты. Полученный концентрат подвергают

доизмельчению до 90–95 % указанного класса, после чего проводят доводку (2–3 перечистки) и направляют продукт на селективную флотацию [4].

Объекты и методики исследования. При флотации медно-молибденовых руд в качестве собирателей медных минералов применяются ксантогенаты и дитиофосфаты, которые также эффективно извлекают молибденовые соединения. Для депрессии пирита используют известь, обеспечивая pH среды в диапазоне 9–11,5 [5].

Ключевую сложность в обогащении данного типа руд представляет процесс разделения медно-молибденового концентрата. Это достигается либо депрессией медных минералов с последующей флотацией молибденита, либо обратной схемой. Предварительно перед селективным разделением проводят стадию десорбции [5].

В современной промышленной практике применяются различные методы разделения коллективных медно-молибденовых концентратов [6, 7]. Один из них - окислительная пропарка концентрата при температуре 85–95 °C в течение 40 минут до 4 часов.

В результате разрушается плёнка собирателя и окисляются медные и железосодержащие сульфиды. После предварительной обработки молибденит выделяют с применением аполярных собирателей при одновременном добавлении депрессоров, ингибирующих флотацию медных и железосодержащих сульфидов, таких как сернистый натрий или цианидные соединения.

Второй подход основан на депрессии молибденита с использованием органических коллоидных веществ - крахмала или декстрина - с последующим извлечением сульфидов меди и железа флотационным методом. Камерный продукт в этом случае представляет собой

необогащённый молибденовый концентрат. Эффективность метода зависит от тщательной очистки поверхности молибденита от остатков собирателей, поскольку их наличие затрудняет депрессию декстрином.

Результаты и их обсуждение. Проведен низкотемпературный окислительный обжиг коллективного концентрата при температуре 260–330 °С. В процессе обработки происходит окисление поверхности медных и железистых сульфидов и разрушение плёнки аполярного реагента на молибдените без затрагивания самой его поверхности. После термообработки концентрат репульпируют и направляют на флотацию молибденита.

Для снижения флотационной активности сульфидов меди и железа применяется сульфид натрия (Na_2S), который способствует удалению собирателей с поверхности минералов, обеспечивая тем самым их депрессию и возможность селективного извлечения молибденита. Эффективность метода значительно возрастает при использовании пропаривания концентрата (паровая флотация) и нагреве пульпы до 80–95 °С, что позволяет сократить расход Na_2S в 3–5 раз. Данный подход был разработан в 1941 году и получил широкое распространение на обогатительных фабриках стран СНГ [6].

Альтернативный подход предусматривает депрессию сульфидов меди и железа с использованием гидросульфида натрия, сульфида аммония – по отдельности либо совместно с Na_2S ; в отличие от традиционного способа, данный метод не требует стадии термического пропаривания.

Один из применяемых при флотации способов ингибирования сульфидов меди и железа основан на использовании окислителей, таких как перекись водорода (H_2O_2) в количестве 0,5–1 кг/т и гипохлорид натрия (NaOCl) – около 2 кг/т.

В практике флотации известно более 200 типов пенообразователей, классифицируемых по химической природе на спирты, фенолы, кислоты, эфиры, гетероциклы, а также серо- и кремнийорганические соединения. Кроме того, выделяется группа прочих реагентов, включающая побочные продукты, и отдельные представители других химических классов.

Результативность применения того или иного пенообразователя в значительной степени определяется рН среды, природой минерализованного сырья и степенью его измельчения [8, 9].

В условиях флотации при характерных концентрациях пенообразователей наблюдается снижение поверхностного натяжения до 30–35

мкН/см. В объёме пульпы формируется ненасыщенный адсорбционный слой, тогда как в пенном слое концентрация реагента существенно выше. Это связано с постоянным разрушением пузырьков над уровнем пульпы и насыщением пены новыми порциями вспенивателя [9].

На границе раздела фаз воздух–жидкость молекулы ПАВ ориентируются полярной частью внутрь водной фазы. Благодаря гидратации этих групп диполями воды создается структурный каркас определённой прочности, что стабилизирует поверхностный адсорбционный слой пузырьков.

Степень устойчивости флотационной пены напрямую зависит от уровня гидратации молекул пенообразователя: чем сильнее они гидратированы, тем медленнее происходит стекание жидкости с поверхности пузырьков, и тем дольше сохраняется пена. Однако чрезмерно устойчивые и хрупкие пены не способствуют эффективному ведению флотационного процесса. При отсутствии пенообразующего вещества пузырьки разрушаются сразу после выхода на поверхность. Эффективная пена должна обеспечивать дополнительное концентрирование целевого минерала.

На формирование структуры пены оказывают влияние тип применяемых реагентов и фракционный состав минеральных частиц. В зависимости от характера разрушения пены и степени водонасыщенности различают следующие типы: пленочно-структурные, агрегатные и пленочные.

Пленочно-структурные пены чаще всего возникают при флотации руд стандартной крупности. Для таких пен характерны большая высота, высокая обводнённость и повышенное содержание захваченных частиц пустой породы.

Агрегатные пены представляют собой плотные образования с низким содержанием влаги, формирующиеся при флотации крупных частиц и использовании аполярных масел. Иногда они образуются в результате трансформации пленочно-структурных пен. Для них характерна высокая скорость флотации.

Пленочные пены, близкие по структуре к агрегатным, отличаются малой толщиной и формируются при обогащении крупных гидрофобных и лёгких частиц, например, угля [4, 5].

Аполярная часть молекулы пенообразователя должна быть достаточно длинной, чтобы выходить за пределы водной фазы, вытесняя молекулы воды и снижая поверхностное натяжение. Эффективность пенообразования определяется соотношением

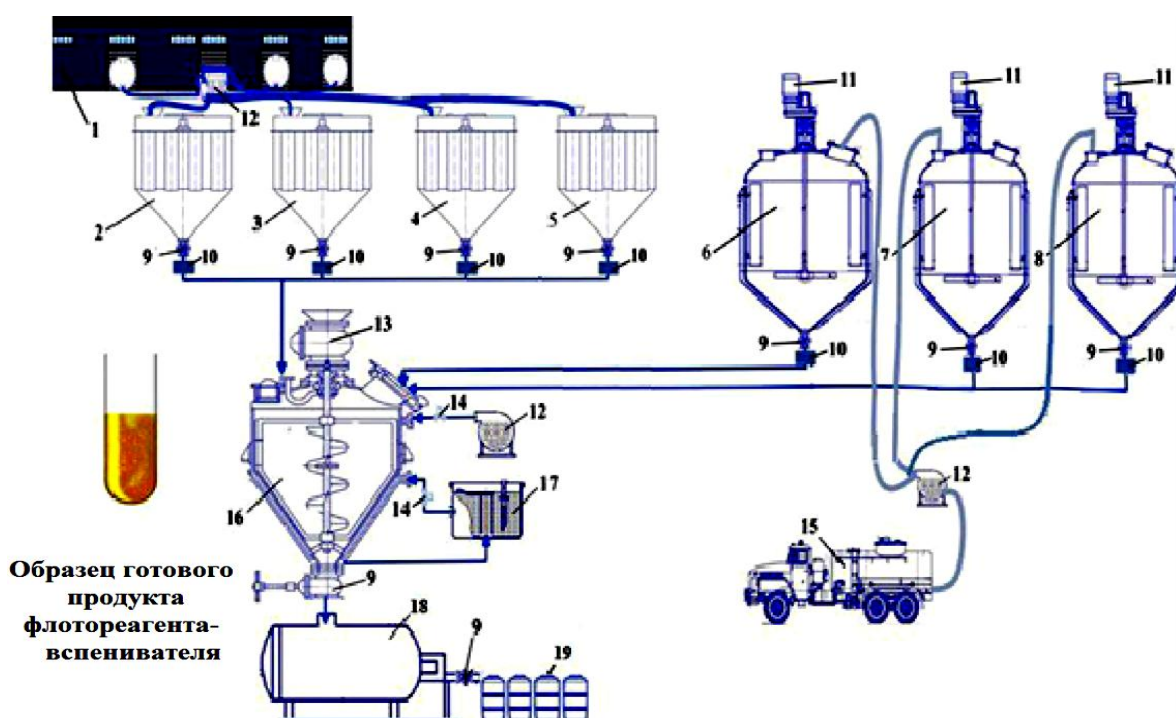
полярного и аполярного фрагментов: спирты с менее чем четырьмя атомами углерода слишком гидрофильны, а с более чем восемью - избыточно гидрофобны, что снижает их активность.

В рамках данной работы проводится разработка эффективных композиционных флотореагентов-вспенивателей, созданных на основе органоминеральных компонентов и производственных отходов.

Разработка новых рецептур флотореагентов-вспенивателей с пониженной себестоимостью и высокой технологической эффективностью по-прежнему остаётся важным направлением в области переработки минерального сырья, особенно для извлечения цветных и благородных металлов. В ходе

настоящей работы была создана результативная технология получения флотационных реагентов-вспенивателей, а также разработана и внедрена модульная линия для их опытного производства.

Основываясь на научно обоснованных методических подходах и этапах производственного процесса, сформирована технологическая схема изготовления композиционных флотореагентов-вспенивателей на основе органоминеральных компонентов, получаемых из доступного местного сырья и вторичных ресурсов. Обобщённая структура технологической линии представлена на рисунке 1.



1- склад для сырьевых материалов; 2 – емкость с мешалкой для модифицированной госсиполовой смолы; 3 - емкость для алкил бензола; 4 - емкость для натрий лаурил сульфата; 5 - емкость для каустической соды; 6 - емкость с мешалкой для глицерина; 7 - ёмкость с мешалкой для ИАФ; 8 – емкость для композиционного полимерного клея; 9 - кран; 10 - дозатор; 11 - электродвигатель; 12 - насос для подачи воды; 13- электродвигатель; 14 - вентиль для воды; 15- автомобиль для транспортировки; 16 - реактор; 17 - аппарат газовой водонагреватель (АГВ); 18 - емкость для готовой продукции; 19- бочка для перевозки готовой продукции.

Рис. 1. Технологическая схема модульной линии производства композиционных химических флотореагентов-вспенивателей КХФ – ВС-Б

Изготовленные по предложенной технологии импортозамещающие композиционные химические флотореагенты-вспениватели КХФ-ВС, включающие выбранные органоминеральные компоненты, были направлены на лабораторно-производственные испытания в условиях флотации медно-молибденовых руд. Процесс

получения композиционного флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС-Б осуществляется в два цикла смешивания компонентов.

Первый цикл. В емкости 2 готовится 10%-ный водный раствор композиционной порошкообразной госсиполовой смолы (КПГС) при температуре 70–80 °С. Смесь перемешивают в течение получаса, после чего

подают в реактор 16, куда одновременно из емкости 6 вводится глицерин. Процесс перемешивания продолжается при температуре 80–90 °С в течение последующих 30 минут. Затем в реактор 16 поочередно подаются алкилбензол из ёмкости 3 и натрий лаурилсульфат из ёмкости 4, после чего смесь тщательно перемешивают 30–40 минут до достижения однородной консистенции.

Для регулирования водородного показателя (рН) до 7–8 в реактор 16 вводится каустическая сода из емкости 5. Далее, в расчетном количестве, из емкости 8 добавляется композиционный полимерный клей Na-КМЦ, после чего все компоненты перемешиваются в течение 30 минут. На этом первый цикл смешивания завершается.

Второй цикл. После завершения первого цикла подготовленная смесь из реактора 16 охлаждается холодной водой до температуры 25–35 °С. Затем через вентиль 9 и дозатор 10 из емкости 7 подается жидкая инъекционно-адгезионная фракция (ИАФ) — отход спиртового производства. Смесь тщательно перемешивается в течение 30 минут до достижения однородной консистенции, после чего готовый продукт направляется в цистерны.

Все химические компоненты подаются в реакторы через специальные шланги с использованием насосов и дозаторов. Подача и регулирование состава компонентов должны осуществляться в автоматическом режиме. Таким образом завершается процесс формирования композиционного химического флотореагента-вспенивателя класса КХФ-ВС-Б.

Готовый продукт фасуется в бочки объемом 200–250 литров.

Основным узлом технологической линии являются реакторы, в которых осуществляется синтез флотореагентов-вспенивателей. В рамках создания модульной линии эти реакторы были специально разработаны, изготовлены и укомплектованы необходимыми элементами: рубашкой для терморегуляции, приводом с двигателем и редуктором, мешалкой, дозатором, сливным краном и соединительной арматурой. После сборки были выполнены монтаж и пусконаладочные работы, позволившие интегрировать оборудование в производственный цикл.

Заключение. Таким образом разработана модульная технологическая линия и организована производства опытной партии композиционных флотационных реагентов-вспенивателей на основе местного и вторичного сырья.

Необходимо отметить, что эффективность флотационного обогащения медно-молибденовых руд определяется совокупностью факторов, включая правильный подбор флотореагентов, условия их применения и характеристики образующейся пены. Вспениватели, снижая поверхностное натяжение и формируя устойчивую пену, играют ключевую роль в процессе разделения минералов. Однако чрезмерная стабильность пены может негативно сказаться на селективности флотации, что требует оптимизации состава реагентов и параметров процесса.

Список литературы

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы».
2. Негматов С.С. «Народное слово». 18.09.2019. №194 (7393).
3. Шубов Л.Я., Иванков С.И., Шеглова Н.К. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. Справочник. Книга 2-М., Недра, 1990. С. 24-36.
4. Петров Н.А., Сагдеев Ш.Х., Есипенко А.И. и др. Химреагенты и материалы для буровых растворов. // Часть 1: Обзор информ. М.: ВНИИОЭНГ. -Москва. 2000г. С. 64.
5. Технические условия. ТУ 2452-029-05766801-94 для флотореагента-вспенивателя. 1994г. 21с.
6. Абрамов А.А. Исследование действия реагентов и закономерностей флотации, полиметаллических руд с целью совершенствования технологии обогащения и создание систем автоматического контроля. // Дис. докт. техн. наук. - Днепропетровск, 1999г. 280 с.
7. Калибачук В.А., Дидковский В.Е., Калибачук Н.И. О комплексообразовании меди (1) с бутилксантогенатом калия в спиртовом растворе // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1975. Т. 18. Вып. 4. С. 45-51.
8. Орел М.А., Кагарлицкая И.В., Лапатухин И.В. О механизме взаимодействия реагентов собирателей на основе сернистых нефтей с поверхностью сульфидных минералов. //Сб. научных трудов. Обогащение руд тяжелых цветных металлов. -Ташкент. 1978. №20. С. 71-75.
9. Григорьев А.А. Производство флотореагентов. // Катализ и нефтехимия. 2001. №9-10, с. 25-31.

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Негматова К.С. Технология флотационного обогащения медно-молибденовых руд с применением химических флотореагентов для извлечения медного концентрата	68
Xusenov A.Sh., Orazova Sh.Sh., Zokirov B.U., Kiyamova M.I., Raxmanberdiev G. Seritsin va inulin asosida kompozitsion plyonka olish va uning fizik-kimyoviy xossalarni o'rganish	72
Саидова Ш.З., Каттаев Н.Т., Колядин В.Г., Акбаров Х.И. Синтез и характеристика гранулированного тройного сополимера 1-винилимидазола, акрилонитрила и дивинилбензола	75
Maxkamov B.G'. Vermikulit asosida olingan kompozitsion materialda benzol va suv bug'i adsorbsiyasi	79
Эшанкулова Г.Р., Ахмадов У.А. Тургунов Ф.Ф., Хасанов А.С. Ер остида танлаб эритиш усули билан уран қазиб олишда ҳосил бўладиган маҳсулдор эритмалардаги водород сульфидни фаолсизлантиришнинг самарали усулини ишлаб чиқиш	82
Bakhromova I.A., Vokhidova N.R. Synthesis of iron-modified chitosan for the purification of hydrogen sulfide waste from the oil and gas industry	85
Туляганова В.С. Разработка и исследование свойств композиционных кордиеритовых электрокерамических материалов на основе местного и вторичного сырья	87
Tursunkulov O.M., Gulyamov B.B., Sobitov M.A., Abduqahhorov F.I., Toxtabayev E.R., Uzakbergenov N.J., Bozorov S.S., Khojiev Sh.G. Effect of methane flow rate on the Raman characteristics and spatial uniformity of CVD graphene grown on high-purity copper at 1020 °C	91
Davlatova Z.Z., Safarov A.R., Abdiyeva F.I., Ixtiyarova G.A. <i>Apis mellifera</i> xitozani asosida suyuq neft tarkibidagi molibden va reniyni ajratib olish texnologiyasi	94
Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О. Способы переработки золы от сжигания энергетических углей	97

4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов

Азимова Ш.А., Азимов Д.М. Перспективы вторичной переработки органических компонентов отходов щелочной очистки пирогаза	100
Sultanova N.S., Ismailova R.M., Ulliboboev A.M., Ismailov R.I. Tsellyuloza materiallarini olovga chidamli materiallarga aylantirish uchun vermikulit asosidagi olovga chidamli kompozitsiyaning tarkibini optimallashtirish	104
Шомуротов Ш.А., Содикова М.А., Абдурахмонов Ж.А., Ахмедов О.Р., Тураев А.С., Юлдашев Ж.М., Олимжонов Ж.У. Периодатное окисление декстрана и синтез оксимных производных путём нуклеофильного присоединения гидроксиламина	106
Razzoqov H.Q., Amonov M.R. Modifikatsiyalangan shofirkon bentoniti asosidagi kompozitsion sorbentlar va koagulyatsion tizimlar yordamida sanoat oqova suvlarini kompleks tozalash	110
Бозоров А.Н. Техногенные отходы предприятий металлургической отраслей и разработка технологии их переработки	112
Xokimov A.E., Eminov A.M., Kadirova Z.R., Xamdamova Sh.Sh. Sho'rsuv gilining mineralogik tarkibi va texnologik xususiyatlarini kompleks tadqiq etish	116
Nuriddinova G.A., Jalilov Sh.N. KMS va PAA ishtirokida melamin va gossipol bilan modifikatsiyalangan mochevina-formaldegid asosidagi yelimlovchi-bog'lovchining strukturaviy va termik xususiyatlari	120
Тулаганова М.А., Маткаримов С.Т. Сравнительная оценка технологических схем извлечения технического теллура из медьэлектролитных шламов	124
Шомуротов Ш.А., Ахмедов О.Р., Тураев А.С., Юлдашев Ж.М., Олимжонов Ж.У., Туляшева М.А., Тураева Х.К. Восстановление оксимных производных декстрана и получение аминированного полисахарида	127
Амонова Н.М., Темиров Ў.Ш., Жўраев И.И. Оқова сув чўкиндиларини компостлашда органик моддалар, азот ва гумус моддаларининг ўзгариши	131
Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О. Исследование процесса извлечения скандия из зольных техногенных отходов с применением ионообменного сорбента	133