

ISSN 2091-5527

№ 2/2026

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

О РАЗВИТИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ОБЛАСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ, БЛАГОРОДНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

Негматов С.С., Эрниезов Н.Б., Негматов Ж.Н., Негматова К.С., Бозоров Д., Курбонов У.М., Абед Н.С., Икрамова М.Э., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н.

Государственное учреждение «Фан ва тараққийёт» при ТашГТУ им. И. Каримова

Аннотация. В работе представлены подробный анализ современное состояние разработки эффективных составов композиционных флотореагентов и химических реагентов – искусственных ионообменных сорбентов и их применения в металлургической промышленности. Проведена подробный анализ о современном состоянии химических флотореагентов и искусственных ионообменных сорбентов и применение их в извлечение благородных металлов из пульпы в лабораторных и производственных условиях металлургической промышленности. Анализируются эффективных составов и свойств флотореагентов и ионообменных сорбентов для извлечения благородных и редких металлов из пульпы.

Ключевые слова. композиционный флотореагент, ионообменный сорбент, пульпа, благородные металлы, редкие металлы, золота, молибден, медь, макропористая структура.

Введение. В последние годы в мире металлургическая промышленность развивается ускоренными темпами. Особенно идет тенденция к комплексной переработке сырья и отходов металлургической промышленности и вовлечению в производство отходов металлургической промышленности. Увеличивается выпуск чистых и особо чистых металлов за счет внедрения технологии селективного извлечения полезных компонентов в раствор, осаждения или извлечения из них особо чистых солей. Это направление очень быстрыми темпами развивается в металлургии цветных, благородных и редких металлов, так как получение в конечном этапе чистых и особо чистых металлов очень актуально.

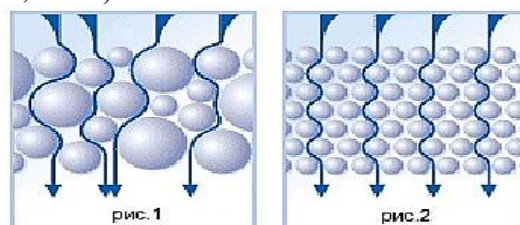
В последнее время для селективного извлечения металлов из растворов и пульпы в металлургии благородных и редких металлов широко применяются специально разработанные композиционные химические флотореагенты и ионообменные смолы, способные селективно извлекать металл из растворов и пульпы [1].

Одной из основных задач, стоящих перед экономикой страны, является мобилизация вторичных ресурсов, их более полное и всестороннее использование. Именно поэтому наше внимание было направлено на поиски путей комплексного использования природных ресурсов, создания эффективных композиционных химических флотореагентов и сорбентов (ионообменные смолы) с рациональным использованием вторичного сырья, обеспечивающие полное извлечения благородных и редких металлов из пульпы.

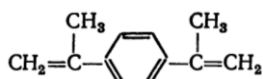
В настоящее время композиционный химический флотореагент и ионообменная смола (композиционный химический реагент – сорбент) широко применяется в металлургии цветных, благородных и редких металлов.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрим процесс извлечения цветных, благородных и редких металлов из пульпы на примере применения композиционного химического сорбента. Иониты - твёрдые, практически нерастворимые вещества или материалы, способные к ионному обмену. Иониты могут поглощать из растворов электролитов (солей, кислот и щелочей) положительные или отрицательные ионы (катионы или анионы), выделяя в раствор взамен поглощённых эквивалентное количество других ионов, имеющих заряд того же знака. Молекулярную структуру ионитов можно представить в виде пространственной сетки или решётки, несущей неподвижные (фиксированные) ионы, заряд которых компенсируют противоположно заряженные подвижные ионы, так называемые противоионы.

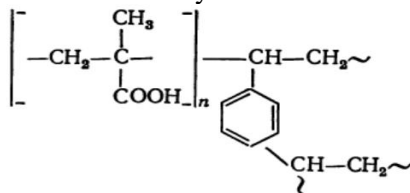
Различают **полидисперсные** (рис.1) гранулы (размер частиц колеблется в диапазоне 0,3-1,2 мм) и **монодисперсные** (рис.2) гранулы (размер частиц, как правило, составляет 0,5-0,6 мм ± 0,05 мм).



Сильнокислотные сульфокатиониты получают также путем сульфирования сополимеров стирола с диизопропенилбензолом, который обеспечивает получение полимерных матриц изопористой структуры.

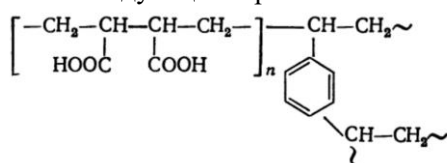


Сополимеризацией метакриловой кислоты с дивинилбензолом получен катионит КБ-1.



Однако получаемый катионит обладает низкой механической прочностью, а сам процесс суспензионной сополимеризации трудно поддается регулированию из-за растворимости метакриловой кислоты в дисперсной фазе.

При сополимеризации метилового эфира акриловой кислоты с дивинилбензолом эфирные звенья соединяются в полимере в положении «голова к голове». После их омыления катионит КБ-2 имеет следующее строение:

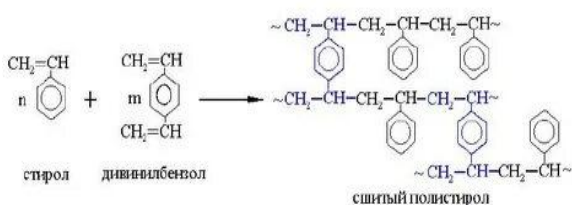


Благодаря такому расположению карбоксильных групп катионит становится селективным по отношению к двухвалентным катионам.

Аниониты полимеризационного типа

Аниониты полимеризационного типа получают сополимеризации исходных мономеров, которые содержат ионогенные группы, с диенами и полимераналогичные превращения сополимеров стирола с дивинилбензолом или других сополимеров, не содержащих ионогенных групп.

В качестве сырья в производстве анионитов полимеризационного типа применяют в основном стирол и дивинилбензол. Сополимеризация стирола с дивинилбензолом происходит по следующей реакции.



Сополимер стирола с дивинилбензолом хлорметируют монохлордиметиловым

эфиром, который получается за счет взаимодействия метилового спирта, формалина и хлористого водорода.

Сильноосновные аниониты получают при взаимодействии хлорметирированного сополимера стирола с дивинилбензолом с третичными аминами, фосфинами и дисульфидом.

Все большее применение в последние годы для синтеза слабо- и сильноосновных анионитов находит мономер 2-метил-5-винилпиридин:

В качестве сшивающих агентов при получении анионитов используют также дивинилпиридин, триэтиленгликольдиметакрилат, диизопропенилбензол.

В зависимости от назначения аниониты полимеризационного типа могут быть получены на основе гелевой и макропористой структур исходного сополимера.

Сильноосновные аниониты. В производстве сильноосновных анионитов полимеризационного типа наиболее широкое применение находят сополимеры стирола с дивинилбензолом. Азотсодержащие аниониты, полученные на их основе, отличаются высокой механической прочностью и химической устойчивостью. Ионогенные группы анионита, жестко связанные с молекулярной сеткой полимера, представлены обычно алкилзамещенными производными гидроксила аммония. Таким образом, эти аниониты являются своеобразной группой высокомолекулярных четвертичных аммониевых оснований или их солей. Макромолекулы сильноосновных анионитов могут содержать некоторое количество слабоосновных групп.

Сильноосновные аниониты могут также быть получены N-алкилированием сополимеров винилпиридинов (или винилхинолинов) с дивинилбензолом и сополимеризацией ониевых солей с дивинилбензолом.

Помимо вышерассмотренных ионообменных материалов существует широкий спектр продукции, способ получения которой зависит от назначения того или иного полимерного соединения и требуемых свойств.

Состав и свойства ионообменных сорбентов. Ионный обмен широко применяется в технологии химического разделения, извлечения, удаления, концентрирования ионов цветных металлов. Это связано с распространением методов, использующих различные ионообменные смолы, которые незаменимы во многих областях химической и металлургической промышленности. С

помощью ионообменных сорбентов можно извлекать и обогащать тяжелые, благородные и редкие металлы из сложных технологических растворов.

Для разделения, выделения и извлечения цветных, редких и благородных металлов из растворов различного состава проводится сорбция с использованием ионообменных смол; ВП – 14К, ВП – 10П, ВП – 1П, АМ – 2Б, КБ-4, КУ-1.

Методом [2] химической модификации хлорированного полипропилена полиэтиленполиамином получен анионит. Выяснили, что, химическая структура макромолекулы полипропилена, содержащая до 15% двойной связи, позволяет осуществлять как химическую, так и термомеханическую модификацию полимера. Изучена кинетика модифицированного хлорированного полипропилена с полиэтиленполиамином, анионообменной экстракции, и установлено, что оптимальными условиями проведения процессов являются температура 100°C и продолжительность 12 часов. Величина СОЕ анионита составила 4,6 мг-экв/г.

В последнее время широкое распространение получили разработанные и внедренные (15) иониты на основе сополимерной макропористой структуры. Эти иониты характеризуются высокими сорбционными свойствами, повышенными физико-химическими характеристиками, а также сорбционно-бесфильтрационные схемы комплексной переработки руд могут служить рациональной основой для перенесения достигнутого опыта в гидрометаллургию цветных, редких и благородных металлов.

Для сорбционного извлечения крупных полимеризованных молекул более целесообразно использовать иониты, обладающие пористой и макропористой структурой. Макропористые иониты, содержащие в основном открытые поры, имеют значительный пустотный объем, что делает их каркас хорошо доступным для проникновения различных ионов. Макропористость увеличивает поверхность объема, способствует быстрой диффузии ионов и сорбция молекул больших размеров. Комплекс исследований, выполненный под научным руководством акад. Б.Н. Ласкорина позволил установить взаимосвязь между сорбционными свойствами, структурой сорбентов и ионным состоянием металлов в растворе и подойти к осуществлению целенаправленного синтеза ионитов.

В результате исследовательских работ [3], исследователи разработали средне - основной анионит ВП-1п и ВП-14К макропористой

структуры, синтезирован усq на основе сополимера 2-метил-5-винилпиридина с дивинилбензолом с введением порообразователя на стадии синтеза. Анионит имеет высокую сорбционную способность по металлам, химическую устойчивость к щелочам и кислотам и механическую прочность. В области оптимальных значений pH раствора изучена кинетика поглощения вольфрама из автоклавно-содовых растворов вольфрамита натрия. Показано, что сорбционное равновесие в системе сорбент-раствор при различных концентрациях вольфрама в исходном растворе (С_{W03} - 40-100г/л) устанавливается за 8 часов. Максимальная емкость поглощения по вольфраму достигает 1600мг/г сорбента.

Исследователи [4] разработали анионит ВП-1Ап, ВП-3Ап, ВП-4Ап, ВП-6Ап, ВП-8Ап с макропористой структурой на основе 2-метил-5-винилпиридина, объемной емкостью 5,2, 5,0, 5,1 мг-экв/г по СГ - иону. Аниониты отличаются между собой строением аммониевых групп. А также получены аниониты ВП-10Ап, ВП-11Ап, ВП-12Ап с такими же физико-химическими свойствами на основе 4-винилпиридина с макропористой структурой, объемной емкостью 5,3, 5,4,5,4 мг-экв/л. Аниониты могут применяться для извлечения ионных тяжелых металлов из кислых сред.

Анионит [5] АМП-п- имеет макропористую структуру, предназначен для использования в гидрометаллургии (извлечение, разделение, концентрирование элементов при переработке растворов и пульп сорбционным способом), в процессах очистки и обезвреживания сбросных и оборотных промышленных растворов, водоочистки, в аналитической химии.

Получен сорбент [6] для извлечения ионов золота путем аминирования хлорметилированных пористых сополимеров стирола с дивинилбензолом, полиэтиленполиамином в растворителе, а хлорметилированный сополимер имеет макро- и мезопористую структуру с преобладанием мезопор диаметром 3-10 нм.

Разработан способ [7] получения легкорегенерируемого ионита для сорбции золота из цианидных гидрометаллургических сред. Сополимер получают суспензионной полимеризацией смеси мономеров и порообразователя, выбранного из алифатических углеводов.

Исследователи [8] Б.Н. разработали анионит АМ-2Б со смешанным основанием и макропористой структурой. Анионит применяется в гидрометаллургии для извлечения и концентрирования различных элементов, в процессах сорбции из растворов и

пульп, очистке сточных вод, аналитической химии и т.д., а также сорбирует цианистые комплексы цветных металлов из рудных пульп и растворов сложного солевого состава, элюирование поглощенных комплексов эффективно осуществляется кислыми тиомочевинными растворами.

Анионит АМ-2Б – макропористая ионообменная смола на основе сополимера стирола с дивинилбензолом, содержащая в своей структуре сильно- и слабоосновные функциональные группы. Наличие бифункциональных активных групп в сочетании с высокой обменной емкостью и хорошей кинетикой обмена позволяет селективно извлекать цианистые анионные комплексы

золота. Макропористая структура и повышенный размер зерен рабочей фракции придают аниониту АМ-2Б уникальные свойства при использовании в гидрометаллургии для разделения цианистых комплексов цветных и благородных металлов при сорбции из рудных пульп сложного солевого состава.

- Обладает высокой механической прочностью, химической и осмотической устойчивостью.
- Имеет высокую кинетику и селективность ионного обмена.
- Легко десорбируется и восстанавливает свойства при регенерации.
- Химически стоек к воздействию щелочей, кислот, окислителей.

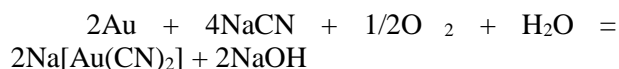
Таблица 1

Основные физические и химические свойства	
Внешний вид	непрозрачные сферические гранулы бело-желтого цвета
Функциональные группы	бензилдиметиламинные и дибензилдиметиламмониевые
Ионная форма	хлоридная
Размер зерен в набухшем состоянии, мм	0,8-2,5
Объемная доля рабочей фракции, %	98
Полная обменная емкость по хлор-иону, мг-экв/г	3,3
Емкость по низкоосновным группам, мг-экв/г	2,4
Массовая доля влаги, %	48-55
Удельный объем, см ³ /г	3,0-3,2
Механическая прочность, %	98
Максимально допустимая рабочая температура, °С	70

Исследователи [9] разработали новые гранулированные иониты на основе акрилонитрила, дивинилбензола и N, N'-метилен-бис-акриламидом с заданной структурой и физико-химическими свойствами. Показаны эксплуатационные возможности новых гранулированных катионитов и слабоосновных анионитов, способных благодаря наличию ионообменных и комплексообразующих свойств извлекать ионы металлов и органические соединения из промышленных сточных вод и других источников;

Выше перечисленные иониты позволяют улучшить технико-экономические показатели сорбционного извлечения благородных металлов из цианидных сред.

Применение ионообменных смол в процессе извлечения благородных металлов. Сорбцию благородных металлов ионообменными смолами можно осуществлять как из осветленных цианистых растворов, так и непосредственно из пульп в процессе цианирования. Цианирование занимает особое место в золотодобывающей промышленности и основано на способности золота, а также серебра, растворяться в слабых растворах щелочных цианидов по реакции:



Золото и серебро в цианистых растворах находятся в виде комплексных анионов $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, $[\text{Ag}(\text{CN})_3]^-$, $[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-}$ и $[\text{Ag}(\text{CN})_4]^{3-}$.

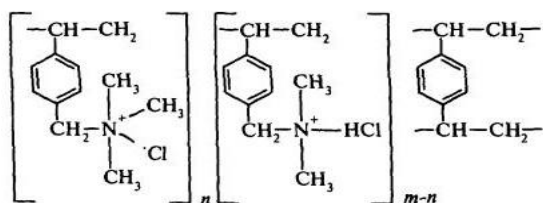
Для сорбции золота и серебра в цианистом процессе могут быть использованы аниониты следующих типов: 1) сильноосновные (отечественные марки АМ, АВ-17, АМП) с функциональными группами в виде четвертичных аммониевых $=\text{N}^+$ или пиридиновых R-N оснований с высокой степенью диссоциации в кислых и щелочных средах ($\text{pK} \leq 2$) и, следовательно, проявляющие активные ионообменные свойства в широком диапазоне значений pH среды; 2) слабоосновные (марки АН-18, АН-21, АН-31 и др.) с функциональными группами в виде первичных $-\text{NH}_3^+$, вторичных $=\text{NH}_2^+$ и третичных $=\text{NH}^+$ аминогрупп, слабо диссоциирующих ($\text{pH} \geq 4 \dots 9$) в нейтральных и щелочных средах; 3) аниониты смешанной основности — полифункциональные (марки АМ-2Б, АП-2, АП-3 и др.), содержащие сильноосновные ($=\text{N}^+$) и слабоосновные ($-\text{NH}_3^+$, $=\text{NH}_2^+$, $=\text{NH}^+$) функциональные группы в различных соотношениях и проявляющие свойства

сильного и слабого оснований с изменяющейся ионообменной активностью в зависимости от величины pH раствора.

В 2000 году цианидный метод применялся при обработке 90-95% руд в мире, а доля металла, извлекаемого посредством цианирования, составляла 80-85% [6].

По данным И.Н. Плаксина и М.С. Гирдасова, при сорбции из цианистых растворов, полученных при выщелачивании руды Балеёкого месторождения (состав раствора, мг/л: Au 4,8; Cu 13,6; Zn 28,9; Fe 9,8; Sb 2,9; As 1,8; Sobщ 185,0; NaSCN 23,6; NaCN 400,0; NaOH 200,0), сильноосновным анионитом АВ-17 в Cl-форме объемная емкость по золоту составила только 8,9 мг/г (из-за низкой селективности анионита). Сильноосновные аниониты могут применяться для извлечения золота и серебра из цианистых растворов с малым содержанием примесей, а также для очистки от цианистых соединений сточных вод золотоизвлекательных и обогатительных фабрик. Слабоосновные аниониты, имеющие в основном составе диметиламин, более селективно сорбируют цианистые соединения благородных металлов, но их общая емкость меньше емкости сильноосновных анионитов вследствие малой диссоциации их активных групп в щелочных средах. Из отечественных слабоосновных анионитов лучшие результаты показал анионит АН-18 полимеризационного типа, аминированный диметиламином $N(CH_3)_2H$ и содержащий в качестве ионогенных групп третичный амин $=NH^+$. Емкость анионита АН-18 в Cl- и OH- формах при сорбции золота из синтетических растворов, содержащих свободный цианид и щелочь, составила соответственно 94,45 и 95,7 мг/мл или около 190,0 мг/г (И.Н. Плаксин, М.С. Гирдасов). При сорбции золота анионитом АН-18 в OH- форме из технологических растворов сложного состава емкость его по золоту на 25—50% выше емкости.

Из бифункциональных анионитов наибольшее применение получил АМ-2Б макропористой структуры. Этот анионит содержит матрицу в виде сополимера стирола и ДВБ, обработанную хлорметиловым эфиром и аминированную смесью вторичных и третичных аминов. Структура смолы имеет следующий вид:



Содержание ДВБ составляет 10—12%. Количество сильноосновных и слабоосновных групп одинаково - по 50%. Анионит АМ-2Б имеет достаточно высокую механическую прочность, повышенные кинетические свойства и используется в промышленной практике цианирования.

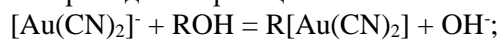
Он проявляет бифункциональные свойства за счет наличия у диаминов двух ионизированных групп с разной константой ионизации.

Наряду с безусловными достоинствами сорбентов, получаемых вышеописанными методами, опыт их промышленного применения выявил ряд проблем, связанных со сложностью регенерации, состоящей из восьми последовательных операций, общей продолжительностью более 200 часов, с переходом от щелочно-цианидной к кислотно-тиомочевинной обработке, отрицательно сказывающейся на прочности сорбентов, выделением ядовитого синильно - кислотного газа, необходимостью его детоксикации и организации мер защиты персонала, применением дорогостоящего кислотостойкого оборудования и реагентов (тиомочевина). Однако процесс сорбции ионов цветных, редких и благородных металлов из многокомпонентных растворов и пульп остается недостаточно изученным.

В металлургической промышленности, особенно, в производстве цветных, благородных, тугоплавких и редких металлов, основного количества металла, полностью, извлекается с помощью ионообменных сорбентов.

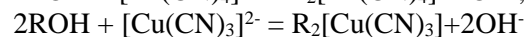
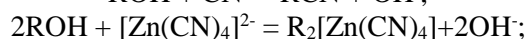
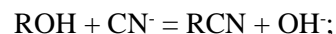
Для цианистого комплекса золота в качестве ионообменной смолы разработан на основе стирола и дивинилбензола бифункциональный макропористый анионный сорбент АМ-2Б. Он достаточно прочен, легко регенерируется, имеет высокую емкость и селективность. Расход смолы составляет 10-20 г/т. Противоионом в смоле является гидроксильный ион OH^- который легко обменивается на золото-цианистый комплекс.

Взаимодействие цианистого комплекса со смолой проходит по реакции



где R - каркас ионита.

Извлечение золота из раствора определяется равновесной концентрацией его в растворе. Кроме золота на смоле собираются свободный цианид и цианистые комплексы других металлов.



Шернаев А.Н, Негматов С.С., Усенова Г.С., Гулямов Г. Методология исследования структуры и триботехнических характеристик антифрикционных древесно-полимерных композитов	54
Xusanov N.A., Rajerova M. Kesuvchi materiallarga vakuumda CVD va PVD usulida qoplama qoplash texnologiyasi	56
Berdiyev Sh.A., Cho‘lliyev Z.F., Hamdamov D.H. Detallarni azotlash so‘ngra oksidlash bilan kompozit nitrid-oksidi qoplamalarini olish usuli	58
Mardanova Y.O’., Kamalova D.I., Abed N.S. Yarim elektr o‘tkazuvchi kompozitsion polimer materiallarning elektr o‘tkazuvchanlikning xossalari tadqiq etish	60
Раззоков Х.Қ., Амонов М.Р. Табиий сапропел минералини механик майдаланиш даражасининг поралар умумий ҳажми ўзгаришига таъсири	63

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Косимов Ш.Б., Абед Н.С., Негматов Ж.Н. Исследование и разработка технологии получения композиционных полипропиленовых материалов и колковых деталей из них для применения в рабочих органах хлопкоперерабатывающих машин и механизмов	65
Номозов С.С., Негматов С.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Абед Н.С., Рахимов Х.Ю., Жовлиев Ш.Х., Абдуганиев А.И. Разработка научно-методических принципов и инновационной технологии получения композиционных химических ингибиторов на основе местного сырья и отходов производств..	68
Inog‘omov S.Y., Asrorov U.A. Natriy–karboksimetiltellyuloza va poliakrilamid asosida interpolimer kompleksini olinish texnologiyasi	70
Бердиев Ш.И., Эркабаев Ф.И., Абдулакимов И.Ф., Шокиров А.П., Эсанбаев Ф.И. Получение Н-пермутита	73
Талипов Н.Х., Панжиев О.Х., Салимова С.А., Абед Н.С., Икрамова М.Э. Разработка технологии получения тампонажных композиционных материалов на основе местного сырья и отходов производств, и растворов из них	76
Хамдамова Ч.Х., Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Бекпулатов Х.О., Абед Н.С. Способы переработки золы от сжигания энергетических углей и перспективы комплексного использования золошлаковых отходов Ангренской ТЭС	77
Xasanova S.X., Shamanov Sh.X. Birlamchi va ikkilamchi polietilentereftalat asosida olingan kompozitsion kalavani bo‘yash jarayonini tadqiq etish	80
Эшдавлатова Г.Э., Исмаилова Х.Дж. Эффективность работы пеногасителей на основе ЭО-ПО-ПДМС в растворах диэтанолamina	82
Негматов С.С., Эрниеков Н.Б., Негматов Ж.Н., Негматова К.С., Бозоров Д., Курбонов У.М., Абед Н.С., Икрамова М.Э., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н. О развитии металлургической промышленности в области извлечения цветных, благородных и редких металлов	86
Нурназарова Г.У., Тухтаев Ф.С., Негматова К.С., Уктамова Ф.А., Уктамова З.А. Исследование изотермических закономерностей адсорбционного процесса в композиционных сорбентах	91
Умиров Ф.Э., Шодиева М.С., Номозова Г.Р. Получение дефолианта на основе хлората магния, содержащего поверхностно-активные вещества	94
Джумаева М.С. Физико-химические основы крашения хлопчатобумажной тканей растворами металлокомплексными соединениями	96
Qoraboyeva N.M., Gafurova D.A., Qurbonov H.G., Ikramova S.M., Rustamov M.K. Xlorlangan polivinilxlorid asosida anionitning olinishi	99

4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов

Номозов С.С., Негматов С.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Абед Н.С., Рахимов Х.Ю., Жовлиев Ш.Х., Абдуганиев А.И. Исследование физико-химических свойств органоминеральных ингредиентов на основе местного сырья и отходов производств и разработка эффективных составов композиционных ингибиторов, применяемых для защиты от коррозии рабочих органов испытательных машин и механизмов, используемых в процессе оценки эффективности нефтегазовых скважин.....	104
--	-----