

разработка конструкции смесителя-отстойника со встроенными смесительными и отстойными камерами. В последующие годы совместно с НИИХиммашем отработывали новые конструкции смесительно-отстойных экстракционных аппаратов горизонтального типа, а также создали смесительно-отстойные экстракторы вертикального типа. Усовершенствованную конструкцию стали повсеместно использовать в промышленном масштабе. Позже модернизировали горизонтальные смесители-отстойники с увеличением объема камер с 11 до 23 м³, что повысило их производительность от 50 до 100 м³/ч, и внедрили модернизированные смесительные экстракторы на предприятия отрасли;

экстракционная десорбция урана эмульсиями керосиновых растворов экстрагентов в 5%-ном растворе серной кислоты;

создание новых сорбентов «твердые экстрагенты» путем введения обычных экстрагентов в гранулы пористых сополимеров на стадии их синтеза и отработка методики импрегнирования гранулированных сополимеров керосиновыми растворами экстрагентов непосредственно в сорбционно-экстракционных цехах гидрометаллургических заводов;

синтез новых экстрагентов, включающих азот-, серу-, фосфор- и мышьяк-содержащие функциональные группы:

аминные третичного и четвертичного типа с обычными и разветвленными алкильными радикалами (ТАА, ТОА, ЧАО, ДИДДА, МДИДДА);

амидные на основе фосфорной кислоты типа трисамидов (ГБТА) и алкиламидов карбоновых кислот;

арсиновые и арсониевые для селективного отделения от урана рения, оксимные — меди;

сульфидные для извлечения золота и платиноидов и их отделения один от другого;

фосфстановые типа изододecilфосфтановой кислоты для разделения близких по свойствам элементов (разделение элементов средней группы редкоземельных элементов, отделение никеля от кобальта);

фосфиноксидные ФОР и ТОФО для извлечения урана и трансурановых элементов при переработке отработавшего топлива;

фосфонитрильные ПАФНК, позволившие удалять уран из фосфорной кислоты для получения дезактивированных удобрений и кормовых фосфатов;

макроциклические краун-эфиры с наработкой в большом количестве (ДБ18К6, ДЦГ18К6) и созданием их разновидностей с такими функциональными заместителями, как алуил-, ацил-, нитро-, амино- и др. Успехи в создании и наработке опытных партий краун-эфиров были отмечены в 2000 г. Государственной премией РФ (В.В. Якшин).

Попутное извлечение ценных компонентов и технология двойного назначения

Водолазов Л.И., Шаталов В.В.

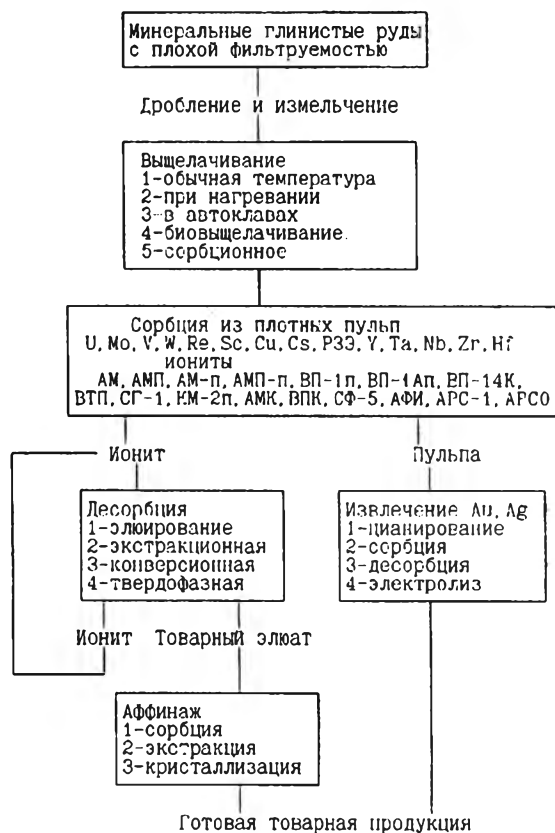
Для высокой эффективности производств по попутному извлечению ценных компонентов предусмотрено использовать сорбционно-экстракционные аппараты большой единичной мощности, высокеемкие ионообменные поглотители, а также специфические приемы сорбции и экстракции. Так, при высоком содержании в рудном сырье ценных компонентов, например, молибдена и ванадия после совместного выщелачивания используют процессы раздельной сорбции. При более низком содержании ценных компонентов их сорбируют совместно и разделяют уже на стадии десорбции. При еще более низком содержании ценных компонентов их сорбируют, и десорбируют совместно и разделяют уже на стадии экстракционного аффинажа. Оптимальная ком-

бинация технологических приемов в сочетании с разумным выбором оборудования и типов ионообменных материалов позволяет экономично выделять в попутную продукцию многие ценные компоненты при их небольшом содержании в урановом минеральном сырье (см. рисунок). Сорбционно-экстракционная технология имеет двойное назначение.

Сорбционное выщелачивание минерального сырья (см. рисунок). Этот процесс совмещает выщелачивание и сорбционную переработку пульпы. Особое значение он имеет для гидрометаллургии урана, золота, меди и молибдена, в особенности окисленных и смешанных руд или хвостов и промежуточных продуктов флотационного обогащения (техногенных минеральных образований).

Золотоурановые руды в нашей стране обнаружены только в районе вечной мерзлоты, и это месторождение пока не используют. Поэтому основные усилия были направлены на создание бесфильтрационной технологии извлечения золота рудного поля Мурунтау. Переработка золотосодержащих руд этого региона осложнена глинистым характером рудовмещающих пород. Это требовало закупки за рубежом большого числа фильтров-сгустителей удельной производительностью по руде на сгущении и фильтровании менее $0,5 \text{ т/м}^2$ в сутки. Начиная с 1964 г. в лабораторных условиях была разработана и испытана схема сорбционного выщелачивания золота из труднофильтруемых руд месторождения Мурунтау, включающая сорбцию из цианидной пульпы на анионитах АМ (вначале) и АМ-2Б (в конечном итоге), десорбцию серно-кислотным раствором тиомочевины, осаждение щелочью, фильтрование полученного концентрата, его прокалку и растворение макропримесей в кислоте, аффинаж обогащенного концентрата с выплавлением слитков золота чистотой 99,992% (банковская чистота 99,99%). В качестве побочной продукции при переработке получают металлическое серебро (выход 0,05 кг/кг золота), металлический палладий (0,06 г/кг), вольфрам в виде триоксида (0,03 кг/кг). По разработанной технологии был спроектирован, построен и пущен в 1969 г. гидрометаллургический завод в Зарафшане.

Сорбционное выщелачивание золота было освоено в промышленном масштабе на Лебединской (1968 г.), Куранахской золотоизвлекающей фабрике (1971—1972 гг.), золотоизвлекающей фабрике им. А. Матросова (1973 г.), Ангренской и Араратской фабриках (1978 г.), Зодском комбинате, Многовершинной, Карамкенской и Кочкарской фабриках. Кроме того, разработаны схемы сорбционного выщелачивания золота для руд месторождений Каральвеевское, Каульды, Ключевское, Коч-Булак, Наталкинское, Хакаджинское, Чалакское, Сухой Лог и некоторых флотационных концентратов. Проведены показательные эксперименты по эффективности разработанного процесса на некоторых месторождениях в Бразилии, Зимбабве, США и Франции.



Обобщенная технологическая схема сорбционно-экстракционной переработки труднофильтруемых руд с глинистыми рудовмещающими породами

Специально для сорбции золота из цианидных пульп был создан макропористый анионит АМ-2Б с синергетным соотношением четвертично- и третичноаммониевых групп, с увеличенной плотностью электронного облака у атома азота за счет уплотнения полимерной макромолекулы сшивкой для повышения селективности поглощения. Производство анионита было своевременно освоено на Приднепровском химическом заводе.

Среди оригинальных работ в гидрометаллургии золота нужно отметить следующие: изучение эффективности различных активированных углей для сорбционного извлечения из цианидных растворов и пульп;

сравнение эффективности сорбционного извлечения золота на анионите АМ-2Б и активированных углях и установление области их оптимального применения;

применение активированных углей при переработке пульпы для легкоцианируемых золотосодержащих руд с предельной концентрацией цианида натрия до 0,8 г/л. При повышении содержания цианида натрия и избыточной щелочности наблюдается частичная десорбция поглощенного золота с активированных углей и ухудшаются показатели сорбционного процесса;

применение селективных ионитов типа АМ-2Б для извлечения из пульпы при переработке трудноцианируемых руд, когда на стадии цианирования следует повышать содержание цианида свыше 0,8 г/л и поддерживать pH на верхнем пределе. Показатели сорбционного процесса при использовании этого анионита не изменяются, так как регенерацию насыщенного анионита проводят подкисленными растворами тиомочевина.

Среди усовершенствованных сорбционных процессов наиболее важными являются:

селективная десорбция золота с насыщенного анионита АМ-2Б этиловым спиртом, подкисленным серной кислотой;

раздельная десорбция цветных металлов и золота с насыщенного анионита АМ-2Б;

цементационное выделение золота из тиомочевинных товарных элюатов алюминевым порошком при 45—50 °С;

сорбция золота из растворов с содержанием тиомочевина 40—90 г/л и серной кислоты 25 г/л на катионите КУ-2п, -22п и -23п с емкостью насыщенного катионита по золоту свыше 100 мг/г;

сорбция золота из дамбовых вод на ионообменных волокнах, сорбционное извлечение золота из продуктивных растворов кучного и подземного выщелачивания;

извлечение золота, серебра, меди и бериллия из электронного скрапа растворением в царской водке с последующей денитрацией полученных растворов и восстановительным осаждением металлического золота;

сорбционное извлечение и разделение платиновых металлов с помощью новых комплекситов марок ВПФ и ВПТ и создание высокоэффективных экстрагентов ОКСАМ и ДАЙМИН.

За разработку и промышленное освоение сорбционного извлечения золота из пульп лауратами Государственной премии стали В.И. Вялков, В.В. Доброскокин и Г.И. Москвичева.

Высокоемкие сорбенты для извлечения ценных компонентов. Молибден. Созданы сорбционные процессы его попутного выделения при переработке алюмосиликатных урановых руд с содержанием молибдена менее 0,05% путем совместной сорбции на анионитах АМП или ВП-1Ап, последующего раздельного элюирования поглощенных компонентов, повторного сорбционного концентрирования молибдена, осаждения полимолибдатов, их растворения, очистки и перекристаллизации в парамолибдат высокой чистоты. Вначале сорбционное концентрирование из элюатов проводили на активированном угле КАД-иодный, затем его заменили пористыми анионитами АМ-п, АМП-п, АМ-2Б, ВП-1п и ВП-1Ап, что позволило увеличить емкость насыщенных анионитов по молибдену от 50—90 мг/г до 120—160 мг/г (стирольные аниониты) и до 350—400 мг/г (винилпиридиновые аниониты).

В промышленных условиях процесс с успехом применяли на Карабалтинском гидрометаллургическом заводе и Краснокаменском рудоперерабатывающем комплексе. Сорбционная технология переработки молибденовых концентратов с использованием анионита ВП-1п была освоена на УзКТЖМ (г. Чирчик), на Скопинском гидрометаллургическом заводе сорбционную технологию применили для извлечения молибдена из растворов после карбонатного выщелачивания продуктов обжига молибденитовых концентратов. Кроме того, была разработана технология сорбционного извлечения молибдена и меди для окисленных руд Сорского месторождения. Сорбционное извлечение молибдена из азотно-кислотных растворов после выщелачивания молибденитовых концентратов месторождений Медет и Елаците на анионите ВП-1п было внедрено в Болгарии, где из вторых богатых товарных десорбатов молибден выделяли, выращивая лазерные кристаллы молибдата свинца.

Для карбонатных руд месторождения Маныбай разработана и внедрена схема раздельного сорбционного извлечения урана и молибдена из карбонатных пульп и схема экстракционного извлечения молибдена из кубовых остатков, получаемых в процессе термической ректификации углекислого аммония. Эти разработки и внедрение в промышленном масштабе также отмечены Государственной премией. Среди сотрудников института лауреатами стали А.Г. Маурина, С.С. Метальников, Н.Г. Жукова. За активное участие в работах в 1984 г. Н.М. Мещерякову присуждена премия Ленинского комсомола.

Вольфрам. Создана технология нового поколения для его извлечения и очистки: сорбция из растворов карбонатного выщелачивания шеелитовых концентратов на УзКТЖМ и на амфолите ВП-14К на Скопинском и Нальчикском гидрометаллургическом заводах. Емкость насыщенного амфолита по вольфраму 1500 мг/г при его концентрации в сбросных маточниках менее 30 мг/л. На стадии десорбции разработаны режимы жидко- и твердофазной регенерации;

сорбция из карбонатных растворов после выщелачивания концентратов обогащения руд месторождения Грынчарица на анионите АМП и варионс АП, а также на амфолите ВП-14К из серно-кислотных пульп с получением паравольфрамата аммония высокого качества;

сорбционная переработка бедных вольфрамовых концентратов из золотосодержащих руд месторождения Мурунтау с использованием анионита АМ-2Б и получением в готовой продукции более 60 т вольфрама;

сорбция в опытно-промышленном масштабе на Забайкальском горно-обогатительном комбинате из щелочных растворов после выщелачивания вольфрамитовых концентратов Орловского горно-обогатительного комбината на амфолите ВП-14К с получением вольфрамового ангидрида повышенной чистоты.

Рений. Разработан процесс его сорбционного извлечения и концентрирования из оборотных растворов Карабалтинского гидрометаллургического завода на амфолите ВП-14КР, продуктивных растворов подземного выщелачивания Навоийского завода путем селективной сорбции на активированных углях с последующим концентрированием на ВП-14КР, а также из отработанных катализаторов серно-кислотного завода. По контракту для Болгарии создана и внедрена сорбционная схема получения перрената аммония для переработки молибденитовых концентратов.

Разработана и внедрена на Навоийском горно-металлургическом комбинате экстракционная схема извлечения рения из урансодержащих растворов с получением перрената аммония марки АР-О в качестве готовой продукции. Показана возможность выпуска рениевой продукции на установках подземного выщелачивания урановых руд.

Для повышения степени десорбции рения с анионитов АМП и АФИ-22 от 70—75 до 90—96% отработан прием введения в нитратно-азотно-кислые элюенты комплексобразующих добавок в виде мицелиальных отходов производства антибиотиков линкомицина, ристомидина и рубомицина.

Созданы новые мышьяксодержащие аниониты марок APC-1 и APC-1A и комплексит APCO для извлечения малого количества урана из урановых пульп.

Марганец. Для гидрометаллургических заводов в Желтых Водах, Днепродзержинске и венгерского предприятия «Мечек» разработана схема его возврата из сливов сгущенной сбросной пульпы с помощью осаждения и доокисления. Создана сорбционно-мембранная технология рекуперации марганца из водных сливов хвостохранилищ предприятий черной и цветной металлургии с получением чистого диоксида марганца.

Отработано капсулирование диоксида марганца внутри гранул ионитов. Для этого проводили поглощение манганат- и перманганат-анионов на анионитах АМ, ВП-1Ап, ВП-1п или катионов марганца на катионитах СГ-1, КМ-2п, КУ-1, -2, затем путем окислительно-восстановительного преобразования осаждали внутри гранул диоксиды марганца для последующего использования полученного органоминерального сорбента многократного действия как для извлечения из пульпы цезия или для окисления двухвалентного железа в трехвалентное с целью поддержать окислительно-восстановительный потенциал пульпы на уровне 500—550 мВ, так и для интенсификации железодоочистки.

Для карбонатно-марганцевых руд Никопольского, Парнакского, Усинского и Уральского месторождений создана гидрометаллургическая технология получения электролитического диоксида марки ЭДМ. По контракту с Болгарией для руд Кремиковского месторождения создана схема получения высококачественного марганца, чистого баритового флотоконцентрата и кондиционных концентратов железа, пригодных после агломерации для доменного процесса.

Медь. Сорбционно-экстракционная технология обеспечивает рентабельную переработку окисленных и смешанных медных руд и этим соответственно снижает нагрузку на биосферу. Для переработки такого типа руд Джезказганского, Кальмакырского и Четыркульского месторождений с содержанием окисленной меди 0,7—0,9% отработаны следующие варианты сорбционного извлечения с выделением в виде катодной и порошковой меди или медного купороса:

сорбция на катионите СГ-1 с получением товарных десорбатов с содержанием меди 15—30 г/л и серной кислоты 15—30 г/л;

сорбция на анионитах и аминокарбоксильных амфолитах АМК, ВПК, АНКБ с получением товарных элюатов с содержанием меди 40—50 г/л и кислоты 50—165 г/л;

совмещенная десорбция с введением в элюат 1—2 г/л порошка металлического железа, обеспечивающая получение цементного концентрата с содержанием меди 50—60%;

усовершенствованная экстракция с использованием экстрагентов АБФ и САЛЭКС для комбината «Свероникель» и Красноуральского медеплавильного завода в целях извлечения меди из растворов с концентрацией 30 г/л при наличии в них кислоты в количестве 50 г/л;

сорбционное извлечение и концентрирование при переработке урановых руд Четыркульского месторождения на амфотерных аминокарбоксильных амфолитах АМК и ВПК, опытно-промышленные партии которых были выпущены в 1971—1975 гг. на гидрометаллургическом заводе в Днепродзержинске.

Олово. Разработано и проверено в 1972—1980 гг. в опытно-промышленном масштабе в ГДР его извлечение из руд месторождения Хаммерляйн с попутным выделением цинка, индия. Получено олово электролитической чистоты. Для Солнечного горно-обогажительного комбината создана сорбционная технология извлечения олова с попутным выделением серебра, индия, вольфрама, меди и цинка.

Ванадий. Он образует метастабильные анионы. Их сорбционное извлечение проводят в присутствии редокситных веществ:

создана технология сорбционного извлечения из маточных растворов на Чусовском металлургическом комбинате после термогидролиза пентаоксида ванадия на анионите ВП-1п с получением чистого ванадата аммония;

освоена технология сорбционной переработки в НПО «Тулачермет» маточных и сливных растворов концентрацией 0,5 г/л ванадия на анионите ВП-1п. В качестве готовой продукции получен черновой пятиоксид ванадия. На этом же предприятии испытана сорбционно-мембранная технология извлечения ванадия из сбросных и шламовых вод;

разработана и внедрена на Ленинадском горно-металлургическом комбинате экстракционная технология очистки ванадиевых растворов с получением чистых соединений при переработке некондиционных продуктов;

в полупромышленном масштабе отработаны две схемы сорбционного извлечения из урановой руды месторождения Рудное: четырехвалентного ванадия в присутствии избытка двухвалентного железа в качестве восстановителя в процессе его сорбции из пульпы на амфолите ВПК и пятивалентного из пульпы на анионите ВП-1п в присутствии избытка трехвалентного железа в качестве окислителя для предупреждения его восстановления. Из полученных товарных элюатов в обоих случаях осаждали метаванадат аммония высокой чистоты.

Проведены исследования по созданию технологии раздельного сорбционного извлечения урана и ванадия на анионите ВП-1Ап при переработке руды месторождения Средняя Падма.

Получение чистых соединений ценных компонентов. Скандий. Урансодержащие фосфориты до недавнего времени являлись основным источником получения скандия. Его извлечение проводили с использованием следующих процессов:

экстракция смесью ТБФ+Д2ЭГФК из сульфатных и сульфатно-нитратных растворов, а также сульфатно-фосфатных маточников после удаления урана. При твердофазной карбонатно-щелочной реэкстракции удалось выделить первичный концентрат с содержанием оксида скандия от 3 до 5%. После экстракционной перечистки на смесях ГБТА + ЧАО вначале, затем дополнительной очистки на ФОР+ТБФ выделяли оксалаты скандия, после прокаливания которых получали оксид скандия чистотой 99,9% и 99,998%, а также фториды скандия. Создано промышленное производство алюмоскандиевых лигатур (заводы в Лермонтове, Желтых Водах и Шевченко);

экстракционная регенерация скандия из металлических отходов машиностроительных заводов с извлечением скандия до 99%;

сорбционное выщелачивание из пульпы красных шламов — отходов производства глинозема с помощью комплекситов АФИ-21 и -22, а также извлечение из отходов производства пигментного диоксида титана на Красноперском заводе;

сорбционная очистка от железа и титана на разнорадикальном фосфорсодержащем ионите.

За комплекс работ по созданию промышленного производства соединений скандия и скандиево-алюминиевых лигатур в 1989 г. присуждена Государственная премия СССР, среди участников разработки были В.И. Никонов, В.Н. Голобородов, В.П. Маширев.

Редкоземельные элементы. Они присутствуют в продуктивных растворах подземного выщелачивания руд различных урановых месторождений (Учкудук, Хиагда), в апатитах и красных шламах. Для удешевления их попутного производства созданы следующие разработки:

экстракционное выделение с помощью синергетной смеси ТБФ+ФОР или ТОФО в первичный концентрат с содержанием 1% их суммы;

сорбционная конверсия хлоридов в нитраты на катионите СГ-1 в колоннах КНСР (Московский завод полиметаллов);

сорбционное выщелачивание на катионите КУ-2 из красных шламов при подкислении до pH 1,5 серной или азотной кислотой (получен концентрат с содержанием 25% редкоземельных элементов);

повышение разделения в 5—10 раз при введении в элюирующие растворы мицеллиальных отходов производства феноксиметилпенициллина (разделение пары Gd—Er, Ce—Er).

Галлий. Разработана сорбция из алюминатных растворов с исходным содержанием 100—300 г/л и из промывных вод с содержанием галлия 40 мг/л с помощью комплексов ГМА-2 и АМО-Х. Отработано повторное сорбционное концентрирование из первых товарных элюатов, из которых удалось выделить галлий чистотой 99,99%.

Висмут. Разработана сорбционная технология переработки висмутового сырья с получением чистых соединений Bi, Mo, Pb, Cu, удовлетворяющих кондициям для достижения сверхпроводимости.

Селен. Он присутствует в урановых рудах Учкудукского региона в количестве 20 тыс. т, и при скважинном подземном выщелачивании его извлекают в продуктивные растворы с содержанием 10 мг/л. Селен сорбируют на комплексе ВПТ.

Тантал и ниобий. Созданы новые сорбционно-экстракционные процессы их извлечения и разделения для переработки бедных концентратов с содержанием тантала 1—2% и урана 0,2—0,3% с помощью пористых анионитов АМ-п и АМП-п. Сорбционное извлечение проводили в полупромышленном масштабе из серно-кислотно-фторидных пульп после выщелачивания концентратов обогащения руд месторождений Квартальное, Завитинское и Этыкинское, а также из ториевого кека — отходов переработки лопаритовых концентратов. Показана возможность сорбционной переработки серно-кислотно-фторидной пульпы в щелевых аппаратах с их извлечением не менее 92% (сбросная концентрация оксида тантала 0,01 г/л). В качестве элюента применяли растворы смесей NH_4HF_2 и NH_4F , десорбцию проводили в аппаратах ПИК-1.

Показана возможность селективного извлечения тантала из плавиково-серно-кислых растворов с содержанием ниобия 2 г/л на мышьяксодержащем комплексе APC-1A. При исходном содержании тантала 1 г/л коэффициенты распределения на APC-1A составили 300—400 для тантала и 2—3 для ниобия, что обеспечило коэффициент разделения 150—194. Обнаружена высокая эффективность сорбционного извлечения тантала из водных маточников с содержанием тантала 0,01 г/л и ниобия 0,1 г/л при наличии в них серной кислоты в количестве 60 г/л.

Цезий. Извлекают из пульп с содержанием 1—2 мг/л с помощью органоминеральных сорбентов типа цезиит. При этом получают товарные десорбаты с содержанием цезия 1—2 г/л, из которых цезий легко выделяют экстракцией фенольными экстрагентами.

Цирконий и гафний. Разработаны новые технологические схемы получения фторцирконата на основе широкого использования сорбционно-экстракционных процессов:

сорбционное извлечение фторцирконат-ионов из пульпы на анионите ВП-1Ап в сочетании с твердофазной регенерацией насыщенного сорбента с получением на стадии элюирования 20%-ного гафниевого концентрата, обеспечивающего сокращение числа перекристаллизаций для разделения циркония и гафния. Отработан процесс экстракционной десорбции поглощенных компонентов с насыщенного анионита ВП-1Ап, позволяющий разделить цирконий и гафний на стадии элюирования;

улавливание фтористого водорода из отходящих вентиляционных газов после твердофазной десорбции фторцирконата с помощью анионита ВП-1Ап. После насыщения анионами фторида его используют в цикле сорбционной переработки фторцирконатной пульпы;

интенсифицировано разделение циркония и гафния путем постадийного охлаждения горячих фторцирконатных растворов от 80 °С до 35—70 и 15—25 °С соответственно.

Никель и кобальт. Сорбционная технология позволяет очистить основные металлы от таких примесей, как железо и цинк, и соответственно повысить качество основной готовой продукции. Она включает:

сорбционную очистку электролитов от цинка на анионите АМП для комбината «Южуралникель» и на анионите ВП-1Ап для Норильского горно-металлургического комбината. Вначале сорбционную очистку проводили в аппаратах с пневматическим перемешиванием, впоследствии их заменили колоннами КНПДС и ПИК-1;

совместную сорбционную очистку никеля от Fe, Cu, Zn, Co;

сорбционное извлечение никеля и кобальта из окисленных руд Буруктаьского месторождения, пульпы после автоклавного и аммиачного выщелачивания руд Талнахского месторождения и руд комбината «Тулакобальт». Проведены полупромышленные испытания сорбционно-экстракционной схемы переработки агломерированных руд пиритно-кобальтовых концентратов Соколовско-Сорбайского месторождения.

Дезактивация растворов для получения удобрений и кормовых фосфатов. Нитрат натрия. Разработана и внедрена в 1967 г. сорбционная схема извлечения урана из нитратной пульпы с водным элюированием урана из насыщенного анионита АМП. После отделения нитратный раствор дополнительно дезактивировали на анионите АМП в отдельном цехе и методами выпаривания кристаллизовали нитрат натрия чистотой, пригодной для использования в сельском хозяйстве. За годы работы завода произведено и продано несколько десятков тысяч тонн солей нитрата натрия в качестве удобрения для сахарной свеклы.

Нитрат натрия получали также конверсией солей сульфата натрия на катионите КУ-2 в серную кислоту с выделением нитрата натрия на стадии элюирования в концентрированные растворы для использования в виде жидких удобрений.

Фосфатные удобрения высокого качества получены после удаления урана и тория экстрагентами из полученных растворов фосфорной кислоты. Вначале для удаления урана использовали синергетную смесь Д2ЭГФК+ТОФО, затем были созданы более эффективные экстрагенты — полиалкилфосфонитрильные кислоты марки ПАФНК и освоено их промышленный выпуск на заводе в Днепропетровске. Разработанные процессы широко применяли при переработке руд месторождения Меловое. Технологическое извлечение урана в насыщенный экстрагент составило 93%. В конечном итоге на заводе получают аммофос и двойной суперфосфат со степенью обезвреживания от радионуклидов более высокой, чем в случае переработки обычных фосфоритов. Разработана также технология получения из дезактивированной фосфорной кислоты кормовых фосфатов для животноводческой отрасли сельского хозяйства.

Отработана технология экстракционного обезвреживания растворов фосфорной кислоты от урана и тория для руд месторождений Заозерное и Тастыколь и марокканских фосфоритов. Проведены исследования по созданию схемы сорбционной дезактивации азотно-фосфорно-кислых растворов от урана и тория с помощью комплекса АФИ-21 и -22. Технико-экономический расчет не выявил преимуществ сорбционной схемы по сравнению с экстракционной.

Очистка воздушных выбросов. Вентиляционные системы сорбционно-экстракционных отделений выделяют в атмосферу многие вредные для человека минеральные вещества. Для их обезвреживания применяют:

очистку отходящих газов от аммиака водной суспензией анионитов ВП-1Ап, -1п, АМ, АМП в гидросульфатной или гидрофосфатной солевой форме при соотношении анионит : водный раствор 1:0,5—4 (предпочтительно 1:1), обеспечивающую снижение содержания аммиака в газе от 5 до 0,09 г/м³. Эффективность улавливания 98%. Продолжительность контакта газа с водной суспензией 0,6 с;

неионогенные сорбенты с хорошо развитой удельной поверхностью, обеспечивающие глубокую очистку воздушных выбросов и водных стоков до уровня ПДК от диоксида, хлорфенолов, пестицидов и гербицидов.

Очистка пищевых продуктов и медицинских препаратов. Молоко. В связи с миграцией минеральных веществ в биосфере в молоке и молочной сыворотке накапливаются вредные катионы и анионы. При получении из молока творога или сыра все примеси остаются в сыворотке. Поэтому обычно сорбционные процессы применяют для ее деминерализации в колоннах с неподвижным слоем ионитов. Были разработаны процессы деминерализации сыворотки в колоннах с неподвижным слоем ионитов СНК, эффективность которых была проверена на молочном заводе в г. Озеры, полученные продукты сертифицированы в Ставропольском институте молочного сырья. Позже для невысоких зданий молочных заводов был отработан вариант сорбционной деминерализации творожной сыворотки в аппаратах с механическим перемешиванием, дооборудованных сетчатыми дренажными устройствами для отделения ионита от молока, с максимальным использованием типового молочного оборудования. Из деминерализованной сыворотки выделены препараты лактулозы. Разработан способ сорбционной дезактивации молока и молочной сыворотки путем удаления из них ^{137}Cs .

Желатин. Разработана технология сорбционной деминерализации желатины третьего и четвертого сортов с доведением ее качества до фармакопейных и фотографических кондиций.

Сахар. Проведены исследования и создана технология сорбционной очистки сахарных сиропов второй сатурации в колоннах ПИК-1 с неподвижным слоем катионита КУ-2, обеспечивающая понижение содержания кальция в сиропе от 0,016—0,028 до 0,006% по СаО и позволяющая эксплуатировать выпарную установку в безнакипном режиме.

Антибиотики. В технологии получения и технического применения антибиотиков созданы новые процессы:

сорбционное извлечение моно-, нео- и гентамицина на катионитах СГ-1, КБ-2 и КБ-2 без отделения мицелиальных отходов в аппаратах с вибрационными дренажами, повышающее их извлечение на 10—20% по сравнению с получением из нативных растворов и соответственно предупреждающее загрязнение ими водных стоков;

осаждение урана из серно- и азотно-кислотных растворов при pH 1,5 и 3,5 мицелиальными отходами производства антибиотиков с получением сухих осадков с содержанием урана 46—48%, после прокаливании которого получают осадок с содержанием урана 67—68%.

Медицинские препараты. Созданы ионообменные препараты для профилактики и лечения различных заболеваний:

сорбовет — препарат на основе акрилатных полимеров для лечения острых желудочно-кишечных заболеваний телят типа дизентерии;

тиовирол — препарат на основе комплексита ВПТ для выведения из организма продуктов алкогольной токсикации;

фермосорб — препарат акрилатного типа с привитыми ферментами пролонгированного действия для выведения токсических продуктов при острых кишечно-желудочных заболеваниях.

УДК 669.053+669.45

СОРБЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Пеганов В.А., Молчанова Т.В.

Анализ показывает, что сорбционные процессы используются в большинстве случаев для извлечения металлов из жидких отходов производства, в частности, сточных и рудничных вод, маточных растворов основного производства и др. В меньшей степени представлена направленность непосредственного применения этих процессов для из-