

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ  
СВЕРДЛОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Для служебного пользования

Экз. № 74

ШЕЖИГИН Владимир Сергеевич

УДК 622.349.21

ОБОГАЩЕНИЕ БОКСИТОВ  
МЕТОДАМИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ И ФЛОТАЦИИ

Специальность 05.15.08 - Обогащение полезных ископаемых

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Свердловск - 1990

Работа выполнена в Свердловском инженерно-педагогическом институте

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук,  
профессор

Л.А.Барский

Доктор технических наук,  
профессор

В.А.Дервянкин

Доктор физико-математических наук,  
профессор


М.Б.Васильев

Ведущее предприятие: Государственный научно-исследовательский  
и проектный институт по обогащению руд  
цветных металлов

Защита состоится "24" октября 1990 года в 10-00 часов  
на заседании специализированного совета Д 063.71.01 по защите  
диссертаций на соискание ученой степени доктора технических  
наук при Иркутском политехническом институте по адресу: 664074,  
Иркутск, Лермонтова, 83

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского  
политехнического института

Автореферат разослан "16" сентября 1990 года

Ученый секретарь специализированного  
совета Д 063.71.01  В.М.Салов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В решениях XXVII съезда КПСС, Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусмотрен прирост глинозема и алюминия в нашей стране за счет повышения эффективности общественного производства. Для этого необходимо более полное использование внутрипроизводственных резервов, особенно за счет внедрения новой технологии, интенсификации технологических процессов, всемерного расширения сырьевой базы алюминиевой промышленности и создания безотходных производств. Для того чтобы выдерживать темпы наращивания производства глинозема на уровне ведущих стран, необходимо прежде всего решить ряд проблем, связанных с качеством алюминиевого сырья.

Основную часть запасов алюминиевого сырья в нашей стране составляют низкокачественные бокситы с высоким содержанием кремния, углекислоты и других вредных примесей.

Себестоимость глинозема, полученного по гидрохимическому способу Байера, существенно меньше, чем при использовании других, в том числе термических, методов. Однако к рудам, перерабатываемым способом Байера, предъявляются жесткие требования по содержанию вредных примесей.

Решение проблемы эффективной переработки низкокачественного алюминийсодержащего сырья возможно либо путем создания экономического способа производства глинозема, либо путем обогащения. Работы по разработке и внедрению научных исследований в области обогащения бокситов, наиболее широко используемого алюминийсодержащего сырья, признаны важнейшими в направлении развития глиноземного производства.

Однако до настоящего времени алюминиевая промышленность СССР обстаетя практически единственной подотраслью в цветной металлургии, которая не применяет процессы обогащения для повышения качества сырья. В то же время складывается такая ситуация, когда горно-рудные предприятия по объективным причинам не могут поставлять сырье необходимого качества, а глиноземные заводы - перерабатывать его без внедрения процессов обогащения бокситов. В связи с этим проблема обогащения бокситов становится актуальной и жизненно важной для развития алюминиевой промышленности.

Настоящая работа выполнена в соответствии с "Межотраслевой комплексной программой научно-технического прогресса и ускоренного развития алюминиевой промышленности на 1985-1990 годы и на период до 2000 года", утвержденной Госпланом СССР и Государственным Комитетом Совета Министров СССР по науке и технике.

Цель работы - создание научно обоснованных технологических решений, имеющих большое народнохозяйственное значение и включающих: разработку основных принципов и оптимальных технологий обогащения различных типов бокситов с применением радиометрических и флотационных методов; комплексную переработку продуктов обогащения и алюминийсодержащего сырья горнорудных предприятий.

Основная научная идея исследований заключается в том, что разрабатываемые технологии обогащения бокситов с применением операций избирательного грохочения, радиометрической сепарации и флотации базируются на изучении минералогических, физико-механических и химических свойств литологических разновидностей бокситов и вмещающих пород, а также особенностей их последующей переработки.

Методы исследований. При исследовании бокситов различных месторождений на обогатимость были учтены специфические свойства алюминийсодержащих руд. В связи с малой изученностью возможности обогащения бокситов для исследований был применен комплексный подход, включающий: детальное исследование литологических разновидностей бокситов, минеральных форм нахождения в них компонентов и их физико-механических свойств с применением методов рентгенофазового, дифференциально-термического, ИК-спектроскопии, кристаллооптического и химического анализов; гидрометаллургическое обоснование целесообразности обогащения бокситов с содержанием  $\text{SiO}_2$  более 4,8%,  $\text{CO}_2$  - более 3,5-4,0% и серы - более 1,0-1,5% и возможности прямой переработки бокситов высокого качества на глинозем с оптимизацией процесса шихтовки сырья, прогнозирования технологических показателей с использованием разработанных вычислительных программ; разработку комплексного показателя контрастности и признака разделения по бокситовому критерию и "вредности" при радиометрическом обогащении бокситов; изучение взаимодействия флотореагентов с поверхностью минералов диаспора и кальцита методом ИК-спектроскопии при разработке режима флотационного выделения карбонатов из бокситов; проведение экспериментов по грохочению, радиометрической сепарации, флотации и переработке продуктов на глинозем,

высокоглиноземистые шлаки в лабораторных, полупромышленных и промышленных условиях.

При этом использованы: методы интерполяционного планирования эксперимента с проведением опытов по ортогональному плану, не традиционный с четырьмя уровнями варьирования полный факторный эксперимент, дисперсный анализ уравнений регрессии избирательно-го грохочения и автоклавного выщелачивания бокситов; разработаны вычислительные программы "Massiv" и "Optim" для описания поведения функций извлечения вредных примесей в щелочно-алюминатный раствор; при исследованиях применена современная измерительная и регистрирующая аппаратура.

Основные положения, защищаемые в диссертационной работе.

1. Принцип обогащения бокситов по их литологическим разновидностям, базирующийся на установленных автором особенностях распределения минералов, физико-механических и радиометрических характеристиках литологических разновидностей различных типов бокситов и вмещающих пород, их распределении по классам крупности и контрастности бокситов по отдельным вредным примесям.

2. Определенные закономерности поведения вредных примесей, содержащихся в боксите, в щелочно-алюминатных растворах глиноземного производства с учетом их взаимного влияния, представленные в виде уравнений регрессии и вычислительных программы по прогнозированию технологических показателей производства глинозема "Massiv" и оптимизации состава байеровской шихты "Optim", а также обосновывающие целесообразность применения процессов обогащения для повышения качества низкокачественных ( $\text{SiO}_2 > 4,8\%$ ) бокситов.

3. Сформулированные в работе условия избирательного грохочения диаспоровых бокситов с выводом уравнений, описывающих зависимость показателей грохочения от класса разделения и максимальной крупности куска в боксите.

4. Основы радиометрического обогащения бокситов, разработанный комплексный показатель контрастности и признака разделения, а также технологические режимы и схемы повышения качества бокситов на стадии рудоподготовки с применением методов избирательного грохочения и радиометрической сепарации.

5. Принцип совмещения технологических сред для флотационного обогащения и переработки бокситов, определенные закономерности флотационного выделения вредных примесей из бокситов на базе ис-

следований по закреплению флотореагентов на поверхности основных разделяемых минералов – диаспоре и калците с разработкой режимов и схем флотации, проверенных в полупромышленном и промышленном масштабах.

6. комплекс мероприятий и разработок, обеспечивающих утилизацию продуктов обогащения и алюминийсодержащего сырья горного производства:

- обогащенного боксита на глинозем по способу Байера;
- карбонатных продуктов радиометрической сепарации и флотации в ветви спекания глиноземного производства;
- пиритного и карбонатного концентратов флотационного процесса при шахтной плавке окисленных никелевых руд;
- алюмокарбонатного сырья методом грохочения и переработки на глинозем по способу спекания;
- алюмокарбонатного сырья для получения чугуна и высокоглиноземистых шлаков.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации обоснована:

- сходимостью расчетных показателей процессов грохочения, радиометрической сепарации и флотации с результатами лабораторных исследований, полупромышленных и промышленных испытаний;
- адекватностью математических моделей, физических явлений и вычислительных программ процессов гидromеталлургической переработки бокситов, подтвержденных результатами экспериментальных и опытно-промышленных испытаний;
- положительными результатами внедрения выводов, рекомендаций и разработок в промышленность и народное хозяйство.

Научная новизна. На основании изучения минерального состава литологических разновидностей различных типов бокситов и вмещающих пород, их физико-механических и радиометрических свойств, исследований поведения вредных примесей в цикле производства глинозема, с определением их взаимного влияния, а также взаимодействия флотореагентов с основными минералами обосновано направление повышения качества бокситов методами радиометрической сепарации и флотации.

Продлены принципы обогащения бокситов по литологическим разновидностям на стадии рудоподготовки и смещения технологических сред для флотации и переработки бокситов. При этом:

- определены ранее неизвестные закономерности взаимодействия вредных минералов боксита со щелочно-алюминатными растворами, диагностировано новое соединение в красном шламе, не содержащее алюминия и щелочи;

- выведены общие зависимости распределения разубоживающей породы и диаспоровых бокситов по классам крупности в процессе грохочения, позволяющие определять оптимальную крупность разделения различных видов бокситового сырья, не прибегая к трудоемкому промышленному эксперименту;

- разработан комплексный показатель контрастности и признака разделения бокситов, позволяющий сопоставлять методы радиометрического обогащения бокситов и выбирать наиболее эффективный;

- научно обоснован реагентный режим флотационного выделения карбонатов из диаспоровых и бемит-диаспоровых бокситов.

Практический выход. Выполненные в работе комплексные исследования по обоснованию целесообразности обогащения бокситов позволили на стадии гидрохимического глиноземного производства вывести уравнения и разработать вычислительные программы по прогнозированию технологических показателей и оптимизации состава шихты в ветви Байера. Предложены уравнения расчета технологических показателей процесса грохочения диаспоровых бокситов. Разработаны технологические схемы и режимы радиометрического обогащения диаспоровых, бемит-диаспоровых и каолинит-гипсбитовых бокситов методами фотометрической, радиорезонансной и рентгенорадиометрической сепарации. Исследована в лабораторных условиях, полупромышленных и промышленных масштабах технология флотационного выделения вредных примесей из диаспоровых и бемит-диаспоровых бокситов. Предложен ряд технологий по утилизации обогащенного боксита, пиритного и карбонатного концентратов, алюмокарбонатного сырья в глиноземном производстве, при шахтной плавке окисленных никелевых руд и получении высокоглиноземистых шлаков и чугуна доменным способом.

Реализация работы. Внедрение результатов работы осуществлено:

- на Уральском алюминиевом заводе - программы по прогнозированию технологических показателей и оптимизации состава байеровской шихты;

- в Сословском алюминиевом заводе - утилизация алюмокарбонатного сырья ПО "Севералюбокситруд" в ветви спекания вместо известняка и частично боксита (а.с. № 766117);

- Алапаевском металлургическом заводе - утилизация алюмокар-

бонатного сырья ПО "СУБР" при производстве чугуна и высокоглиноземистых шлаков доменным способом;

- производственном объединении "Севералбкситруда" - процесс выделения алюмокарбонатного сырья и реализация его потребителям.

Кроме того, запроектирован и строится участок радиометрической сепарации в составе опытно-промышленной обогатительной фабрики производительностью 200 тыс. тонн боксита в год на ПО "СУБР".

Запроектирована установка грохотов на всех вновь строящихся подъемах шахт ПО "СУБР", с пуском установки грохочения - на шахте I3-I3-бис в 1990 году и на шахте "Черёмуховская" - в XIII пятилетке.

Апробация работы. Диссертационная работа и основные ее разделы докладывались: на заседании секции легких металлов научно-технического совета МЦМ СССР (Павлодар, 1976), региональной научной конференции "Комплексное использование металлургического сырья Урала" (Свердловск, 1977), Всесоюзном семинаре "Разработка безотходной технологии обогащения руд редких и цветных металлов" (Симферополь, 1979), Всесоюзном совещании "Безотходные технологии переработки полезных ископаемых" (Москва, 1979), Всесоюзной научной конференции "Экономический механизм использования и охраны недр" (Москва, 1980), П республиканской конференции "Щелочная металлургия цветных металлов" (Алма-Ата, 1981), Всесоюзном совещании по физико-химическим основам бессточной технологии переработки полезных ископаемых" (Алма-Ата, 1981), П Всесоюзной конференции по комплексному использованию руд и концентратов (Москва, 1983), Всесоюзной научно-практической конференции "Основные направления и меры по ускорению научно-технического прогресса алюминиевой промышленности в свете постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 18 августа 1983 года" (Москва, 1984), Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка и внедрение энергосберегающих и малоотходных технологий в металлургии цветных и редких металлов" (Москва, 1986), III республиканской конференции "Комплексная переработка минерального сырья методами щелочной металлургии" (Алма-Ата, 1987), в Межотраслевом научно-техническом комплексе "Механобр", ВАМИ, ИлсО АН Каз.ССР, институте "Казмеханобр", Рудненском индустриальном институте, Уральском политехническом институте и других организациях.

Публикации. Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в 19 статьях, 2 депонированных рукописях



и 30 тезисах докладов, по работе получено 15 авторских свидетельств и положительных решений по заявкам на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести разделов и заключения, изложенных на 336 страницах, включающих 62 рисунка, 83 таблицы, а также список литературы из 223 библиографических наименований и I приложение.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы.

В первом разделе диссертации изложены результаты анализа сырьевой базы глиноземного производства, рассмотрено по литературным данным влияние вредных примесей, содержащихся в бокситах, на технологию производства глинозема, обобщены известные варианты модернизации гидрохимического способа Байера, в том числе с применением методов глубокого обогащения бокситов, определена область и сформулированы задачи исследований.

Боксит является основным сырьем, из которого получают около 95% мирового глинозема. В СССР выделено десять бокситоносных провинций, содержащих бокситовые месторождения, из которых лишь пять представляют промышленный интерес: Североуральские, Южно-Уральские, Североонежские, Тиманские и Тургайские. Североуральские месторождения занимают первое место в стране по запасам (27% числящихся на балансе ВГФ СССР), по их качеству (90% составляют марки ГВ-I и ГВ-II), а также по промышленному использованию (52% добычи СССР). Производственное объединение "СВБР" покрывает на 85-90% потребность крупнейших в стране Богословского (БАЗ) и Уральского (УАЗ) алюминиевых заводов в глиноземном сырье.

Разведенные к настоящему времени запасы алюминийсодержащих руд обеспечивают существование основных глиноземных заводов нашей страны (табл. I).

Наиболее существенное влияние на технологию производства глинозема оказывают минералы кремния, железа, титана, а также карбонатные, сульфидные и органические соединения. Кремнийсодержащие минералы являются основной вредной примесью в бокситах. Изучению поведения минералов кремния посвящено много работ. Наличие  $\text{SiO}_2$  в сырье при существующих в промышленной практике температурных режимах снижают скорость выщелачивания боксита и извлечение глинозема в раствор, а также приводит к необратимым потерям щелочи с

Таблица I  
Месторождения, химический состав и потребитель бокситов

Месторождения	Содержание, %					Кремниевый модуль, ед.	Потребители
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ.</sub>		
Южно-Уральские	51,5	8,2	21,0	4,0	1,00	6,3	ГАЗ, БАЗ
Североуральские	53,0	4,4	22,0	3,8	1,00	12,0	УАЗ, БАЗ
Северо-Кавказские	44,0	11,0	18,0	2,5	0,30	4,0	ПАЗ
Североонежские	53,0	18,0	7,0	0,3	0,30	3,0	БГЗ
Таманские *)	48,5	9,0	2,0	0,3	0,02	5,4	УГЗ <sup>*)</sup> , УАЗ, БАЗ

\*) - проект.

красным шламом. Интенсивное разложение сульфидов (пирита и мельниковита) при выщелачивании начинается при  $t = 180^{\circ}\text{C}$  и протекает тем сильнее, чем выше температура и концентрация щелочи. Известно, что многие затруднения в технологии переработки бокситов (загрязнение глинозема железом, быстрый износ выпарной аппаратуры) вызваны переходом в алюминаты раствор соединений серы. Карбонаты, представленные в бокситах, главным образом кальцитом и сидеритом, разлагаются щелочью с образованием гидроксида кальция и железа, а также соды. Декаустифицирующее действие карбонатов приводит к накоплению в производственных растворах соды, которая должна периодически выводиться из процесса и может вновь возвращаться лишь после ее превращения в едкую щелочь. В зависимости от способа переработки бокситов на глинозем вредное влияние одних примесей будет сильнее, других - слабее. Для того чтобы можно было перерабатывать низкокачественные бокситы, содержащие вредные примеси, по наиболее экономичному способу Байера, исследователями проводятся работы в следующих направлениях:

- 1) обогащение бокситов;
- 2) усовершенствование самого способа Байера;
- 3) разработка технологических мероприятий, обеспечивающих уменьшение вредного влияния примесей.

В последние годы большое внимание непосредственно уделялось усовершенствованию способа Байера с целью его использования для переработки низкокачественных бокситов. Из числа наиболее разработанных вариантов следует выделить способы: содовой-известковой выщелачивания, Пономарева-Сегина, Байер-гидрохимия. Однако на

данном этапе внедрение этих способов сдерживается технологическими трудностями, возникающими при ведении процесса с применением водных и коррозионно-активных растворов высоких концентраций при повышенных температурах.

Анализ технической литературы показывает, что основными проблемами глиноземного производства в нашей стране являются ухудшение качества бокситов и отсутствие серьезных крупных разработок, позволяющих на стадии получения глинозема коренным образом решить задачу переработки низкокачественных бокситов по способу Байера.

Одним из наиболее эффективных путей усовершенствования глиноземного производства может служить предварительное обогащение алюминийсодержащего сырья. В СССР и за рубежом широко ведутся исследования по разработке схем обогащения, а также вариантов включения обогатительных операций в схемы производства глинозема. Эти исследования, в основном, не вышли за пределы лабораторий. Однако к настоящему времени накоплен значительный опыт и сделан заметный шаг в подготовке промышленного освоения обогащения бокситов. Ученые совместно с работниками предприятий сконцентрировали свои усилия на разработке трех основных направлений в области глубокого обогащения бокситов:

- 1) пирометаллургическая обработка;
- 2) гравитационное обогащение;
- 3) флотационные методы.

Из опробованных на различных типах бокситов методов обогащения наиболее перспективна флотация вредных компонентов.

Из обзора научно-технической литературы отечественных и зарубежных авторов выявлено, что основным направлением в области повышения эффективности процесса переработки низкокачественных бокситов на глинозем является обогащение. Исследователями показана принципиальная возможность подготовки бокситового сырья для глиноземного производства с использованием гравитационных, флотационных, магнитных и других методов. Однако уровень проработанности технологий обогащения в основном невысок. Приведенная в литературе информация не систематизирована, не подкреплена ни теоретическим обоснованием, ни промышленной проверкой полученных результатов.

Поэтому для решения вопросов повышения качества бокситов методами обогащения в работе поставлена задача разработать новые принципы как на стадии рудоподготовки, так и на стадии глубокого

обогащения. Они должны базироваться на детальном изучении бокситового сырья и специфики его переработки на глинозем. На базе новых принципов необходимо разработать технологии обогащения различных типов бокситов на всех этапах его переработки на глинозем.

Во втором разделе изложены результаты исследований распределения минералов по литологическим разновидностям бокситов различных типов, разубоживающим карбонатным породам и сланцам, определены их физико-механические и радиометрические свойства, выявлено также распределение малых примесей, в том числе и редких элементов, по литологическим разновидностям бокситов и пород. Это позволило сформулировать новый принцип в обогащении бокситов на стадии рудоподготовки – обогащение по их литологическим разновидностям.

Для обоснования возможности обогащения (как крупнокускового – методами радиометрической сепарации, так и глубокого – методом флотации) недостаточно тех результатов исследований по минералогии и литологии бокситов, которые были получены ранее.

В различных типах бокситов встречаются следующие литологические разновидности: 1) каменные (сильно-, средне- и слабожелезные), рыхлые и глинистые – в гиббситовых бокситах Казахстана; 2) коричневые (крупно-, средне- и мелкобобовые) и серые (пиритизированные, известковые, плотные) – в бемит-диаспоровых бокситах Южного Урала; 3) красные маркие, красные каменные немаркие, красные яшмовидные, пестроцветные и обесцвеченные – в бокситах Североуральских месторождений. Минералогический анализ литологических разновидностей, выполненный с применением рентгенофазового, дифференциально-термического, кристаллооптического и химического методов, показал, что основные вредные примесные минералы, содержащие серу,  $\text{CO}_2$  и  $\text{SiO}_2$ , распределены по разновидностям в виде тонких включений крайне неравномерно. Так, если красные маркие и немаркие каменные бокситы Северного Урала являются самими высококачественными разновидностями, содержащими 54–56%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3–5%  $\text{SiO}_2$ , менее 2,5%  $\text{CO}_2$  и 0,7% серы и имеющими кремниевый модуль более 10 ед., то красные яшмовидные и обесцвеченные бокситы при относительно невысоком содержании серы от 0,5 до 1,1% и  $\text{CO}_2$  от 1,3 до 2,9% имеют кремниевый модуль менее 7 ед., что затрудняет их переработку на глинозем по способу Байера. Пестроцветные бокситы при кремниевом модуле 8,2 ед. содержат до 4%  $\text{CO}_2$  и 6,8% серы.

Литологические разновидности бемит-диаспоровых бокситов нез-

значительно различаются по кремниевому модулю, однако имеют большое различие по содержанию серы (менее 0,2% - в коричневых и более 4,2% - в серых) и  $\text{CO}_2$  (менее 1,2% - в коричневых и до 30% - в серых).

Каменные литологические разновидности гиббситовых бокситов имеют кремниевый модуль, как правило, более 10 ед. при относительно невысоких содержаниях серы и  $\text{CO}_2$ . А в рыхлых, и особенно глинистых, разновидностях кремниевый модуль значительно ниже - 2-6 ед. при содержании  $\text{CO}_2$  в виде сидерита до 6,0%.

Все минералы в литологических разновидностях были рассмотрены в порядке их распространенности в сырье и, исходя из поставленной цели обогащения и их поведения в процессе производства глинозема, классифицированы нами на три группы:

1) полезные глиноземсодержащие (гиббсит, нордстрандит, бемит, диаспор, корунд, байерит);

2) железосодержащие балластные (гематит, гетит, маггемит, магнетит);

3) вредные минералы (пемозит, каолинит, кварц, кальцит, доломит, сидерит, пирит, диксит, галлуазит, аллофан).

Каждому минералу дана физико-механическая и химическая характеристика, рассмотрены распространенность и парагенетическая связь его с другими минералами. Определены характерные сообщества минералов по типам руд. Впервые приведены обзорные данные по распределению минералов в литологических разновидностях и кусковом материале. Новым в описании минералов и полиморфных модификаций является связь геохимических условий их образования с поведением в технологическом процессе производства глинозема.

Показано, что разубоживающая порода, входящая в состав товарной руды в количестве 2-8% (в зависимости от способа отработки месторождения, мощности рудного тела, применения самоходной техники и т.п.), представлена, в основном, известняками - светло-серыми, рифогенными, темно-серыми битуминозными и амфиболовыми, а также известково-глинистыми сланцами и рудной брекчией.

Выполненные исследования по изучению радиометрических свойств (коэффициент диффузного отражения, изменение магнитной проницаемости, изменение добротности, спектральные отношения) основных литологических разновидностей и вмещающих пород (табл. 2) показали хорошие предпосылки для использования в качестве метода обогащения бокситов радиометрической сепарации.

Таблица 2  
Радиометрические свойства литологических разновидностей  
бокситов и вмещающих пород Ю "СУБР"

Литологические разновидности и вмещающие породы	Показатели свойств			
	КДО, %	изменение магнитной проницае- мости, усл. ед.	изменение добротности, усл. ед.	спектраль- ные отно- шения, $\eta = N_{\text{Fe}} : N_{\text{Si}}$
Боксит красный маркий и ка- менистый немаркий	23-26	300-570	1,0-1,4	4,5-8,0
Боксит яшмовидный	26	1496	1,22	2,98
Боксит обесцвеченный	44	109	0,63	1,25
Боксит серый пестроцветный	31	154	0,75	3,06
Боксит темно-серый, порфи- ровидный, пиритизированный	28-30	100-700	0,3-0,9	2,2-5,0
Боксит плитняковый пирити- зированный	25	1792	1,14	3,37
Сланцы известково-глинистые	25	138	0,69	1,32

Исследования по излучению малых примесей в литологических разновидностях диаспоровых бокситов и вмещающих породах показали, что редкие элементы распределены неравномерно. Так, скандий в высококачественных (красный маркий и немаркий) бокситах содержится в незначительных количествах, в то время как в обесцвеченном, сером пиритизированном его содержание значительно выше - до 66 г/т. Еще более контрастная картина наблюдается по л. тит: его содержание в высококачественном боксите не превышает 70 г/т, а в известково-глинистых сланцах, порфиroidных и плитняковых пиритизированных бокситах достигает 700-2000 г/т. Содержание титрия колеблется от 70-83 г/т - в долине и обесцвеченном боксите до 42-48 г/т - в красном марком и немарком бокситах и менее 30 г/т - во вмещающих породах.

Исследование основных закономерностей распределения компонентов и минералов бокситов по литологическим разновидностям, а также детальное изучение физических, механических и радиометрических свойств литологических разновидностей бокситов и вмещающих пород позволяет предложить новый принцип предварительного обогащения на стадии рудоподготовки - обогащение бокситов по их литологическим разновидностям.

В связи с различием в твердости и хрупкости, а также оптических, электромагнитных и ядерно-физических свойствах литологических разновидностей в добываемом алюминийсодержащем сырье для разработки технологии обогащения бокситов выбраны методы грохочения и радиометрической сепарации.

Третий раздел посвящен изучению взаимного влияния примесей карбонатов, серы и кремнезема на технологические показатели автоклавного выщелачивания.

Для оптимизации технологических показателей производства глинозема необходимо построение трехфакторной модели процесса автоклавного выщелачивания, описывающей зависимость основных выходных показателей процесса  $\xi_j$  от содержания в сырье карбонатов, серы и кремнезема. Кроме того, моделирование процесса позволило:

1) изучить взаимное влияние примесных минералов боксита, содержащих  $\text{CO}_2$ , серу и кремнезем на технологические показатели выщелачивания руды;

2) определить область факторного пространства, в пределах которой возможен поиск оптимальных технологических показателей выщелачивания с применением шихтовки боксита различного качества.

Анализ работы глиноземных заводов за последние десять лет показал, что повышение содержания  $\text{CO}_2$  в боксите поступающем в ветвь Вайера,  $\text{CO}_2$  с 3,0 до 3,9%, серы с 0,9 до 1,2% и снижение кремнезема с 15,3 до 12,4 ед. привело к резкому увеличению потерь щелочи и глинозема, материальных потоков по переделам дробления, измельчения, выщелачивания, сгущения и выпарки. Это в свою очередь обусловило увеличение тепло- и энергосатрат, цеховых расходов, снижение производительности оборудования по конечной продукции.

Однако на основании заводских данных практически невозможно проследить взаимного влияния указанных примесей на показатель процесса выщелачивания боксита. Поэтому в лабораторных условиях был поставлен полный факторный эксперимент с использованием метода интерполяционного планирования, а полученная математическая модель была проверена на практике работы уральских алюминиевых заводов.

Для обработки результатов многофакторного эксперимента и вывода уравнений регрессии была составлена программа "Masseiv", позволяющая рассчитать коэффициенты при независимых переменных в уравнении типа:

$$\xi_j = b_0 + b_1 \cdot f_1 + b_2 \cdot f_2 + b_3 \cdot f_3 + b_{12} \cdot f_1 \cdot f_2 + b_{13} \cdot f_1 \cdot f_3 + b_{23} \cdot f_2 \cdot f_3 + b_{123} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

где  $\xi_j$  - значения выходного параметра, ед.;

$f_1, f_2, f_3$  - кодированные значения факторов, ед.

Для достижения большой адекватности было составлено два уравнения регрессии: при содержании  $\xi_1 \theta_1 = 1,8-4,8\%$  и  $4,8-10,8\%$ . Дисперсионный анализ полученных уравнений регрессии показал, что расчетный критерий Фишера ( $F_p$ ) меньше  $F_{\text{табл.}}$ , равного 1,6 ед. Проверка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что для величины доверительного интервала  $\Delta b_j = \pm 0,203$  практически все независимые коэффициенты уравнений являются статистически значимыми.

На рис. 1 представлены поверхности отклика (значения параметрических функций) в трехмерном пространстве при двух изменяющихся факторах -  $\text{CO}_2$  и  $S_{\text{общ}}$  и неизменном содержании кремнезема в боксите, равном 1,8; 4,8; 7,8 и 10,8%. Интервалы варьирования содержаний примесей в шихте с 3,5 до 5,0%  $\text{CO}_2$ , с 0,55 до 2,05%  $S_{\text{общ}}$  и с 1,8 до 10,8%  $\xi_1 \theta_1$  соответствуют качественному составу добываемых бокситов Урала с учетом их разубоживания. Выделены две области факторного пространства:

1) область А, в которой варьирование уровней факторов осуществляется при значениях  $\xi_1 \theta_1$  менее 4,8%;

2) область Б - факторное пространство при значениях более 4,8%.

Рассматривая область А, можно отметить, что при значениях содержания кремнезема в шихте 1,8% поверхность отклика  $\xi_{\text{Al}_2\text{O}_3}(f_i)$  практически не имеет локальных экстремумов, то есть увеличение содержания примесей  $\text{CO}_2$  и серы в боксите не влияет на извлечение глинозема в раствор. Однако при этом наблюдается резкое уменьшение извлечения в раствор серы практически при любой дозировке известняка. Минералогическим анализом получаемого при этом красного шлама впервые идентифицирована соль состава  $\text{Ca}_3\text{SO}_4 \cdot \text{CO}_3 \cdot (\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  не содержащая оксидов алюминия, кремния и натрия. Наличие соединения подтверждают и результаты анализа красного шлама на содержание в нем сульфатной серы ( $S_{\text{SO}_4}$ ). Так, при увеличении содержания в боксите примесей серы с 0,5 до 2,0%,  $\text{CO}_2$  с 3,5 до 5,0% содержание  $S_{\text{SO}_4}$  в шламе увеличивается с 0,07 до 0,25%. Образование рассматриваемого соединения происходит лишь при небольших содержаниях в боксите кремнезема. С увеличением содержания  $\xi_1 \theta_1$  до 4,8% в шламах боксита диагностируется канкринит. С его появлением связаны повышенные потери глинозема и каустической щелочи с твердой



фазой.

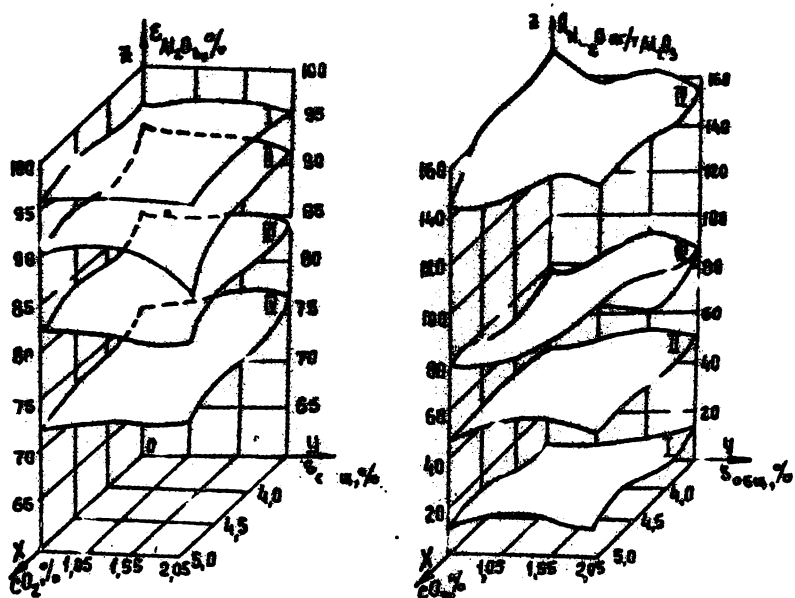


Рис. 1. Поверхность отклика функций  $\epsilon_{Al_2O_3}(x)$  и  $\Pi_{Al_2O_3}(x)$  при содержании  $SiO_2$  боксита, %: I - 1,8; II - 4,8; III - 7,8; IV - 10,8

Область А факторного пространства соответствует качественному составу бокситов, перерабатываемых по способу Байера. Поэтому, используя результаты эксперимента, можно указать пути повышения эффективности технологии переработки бокситов за счет оптимизации состава перерабатываемого сырья. Для этой цели была разработана вычислительная программа, использующая в расчетах банк экспериментальных данных. Разработанная программа позволяет также прогнозировать показатели выщелачивания в зависимости от качества исходного сырья. Применение трехфакторного моделирования процесса автоклавного выщелачивания более адекватно описывает его технологические показатели по сравнению с однофакторным моделированием.

Область Б исследуемого факторного пространства соответствует высококремнистому бокситу, переработка которого по способу Байера

затруднена вследствие увеличения потерь щелочи и глинозема с красным шламом. Поскольку в рудах наряду с высококремнистыми бокситами, как правило, присутствуют высококарбонатные и высокосернистые, то целесообразно предварительное кондиционирование боксита. Учитывая, что бокситы практически всех месторождений СССР (кроме бокситов отдельных шахт ПО "СУЗР") относятся к категории низкокачественных по одному из вредных ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $S_{\text{общ.}}$ ) компонентов, то вопрос их обогащения является одним из наиболее актуальных для глиноземного производства нашей страны.

На алюминиевых заводах, перерабатывающих боксит на глинозем, имеется полный и непрерывный цикл подготовки сырья к его гидрохимической переработке - дробление, грохочение и измельчение. Процесс измельчения боксита осуществляется в жидкой технологической среде глиноземного производства - щелочно-алюминатном растворе. Кроме того, необходимо учитывать, что отдельные компоненты, в частности карбонаты, являющиеся вредными для производства глинозема по способу Байера, входят в состав спекательной шихты способа спекания в виде известняка.

Совокупность вышеприведенных признаков позволяет считать целесообразным проведение глубокого обогащения, требующего раскрытия минералов, в технологических средах (щелочных, содовых, щелочно-алюминатных и др.) глиноземного производства. В этом заключается новый принцип глубокого обогащения бокситов.

В четвертом разделе установлены основные закономерности распределения компонентов бокситов по классам крупности, предложен комплексный показатель контрастности и признака разделения на основе бокситового критерия и параметра "вредность", определены сырьевые предпосылки для радиометрического обогащения бокситов, впервые методами радиометрической сепарации практически подтвержден сформулированный во втором разделе работы принцип обогащения бокситов по литологическим разновидностям и разработаны технологии на основе избирательного грохочения и радиометрической сепарации алюминийсодержащего сырья.

Диаспоровые бокситы Северного Урала отличаются сложным минералогическим составом и, в основном, равномерным распределением минералов по классам крупности в пределах одной литологической разновидности. Однако разубоживающие породы, представленные главным образом известняками, в силу своих физико-механических свойств при добыче руды разрушаются в меньшей степени, чем основная мас-

са боксита, и сосредотачиваются преимущественно в крупных классах. Известняки представляют собой механическую примесь в боксите с индивидуальной и практически постоянной ситовой характеристикой, накладывающейся на ситовую характеристику боксита. Поскольку ситовые характеристики боксита и известняка различны, то существует реальная возможность их частичного разделения путем классификации по крупности.

С целью установления реальной картины распределения компонентов в бокситах, и в первую очередь карбонатов, была проведена серия исследований и испытаний по грохочению различных по качеству диаспоровых бокситов всех шахт Ю "СУБР". За весь период промышленного опробования (1978-1987 годы) были подвергнуты исследованиям несколько сотен тысяч тонн боксита всех шахт объединения и собрана проба весом более 200 тонн. Было изучено распределение основных компонентов по классам крупности наиболее характерных бокситов, алюмокарбонатного сырья и шахтной породы.

Практический материал, накопленный в процессе исследований и испытаний по опробованию обогатимости бокситов различных шахт, позволил выявить некоторые общие закономерности распределения компонентов по классам крупности для диаспорового сырья Северного Урала. Было установлено, что зависимость  $\beta_0 - \beta_n = f(D)$  подобна гиперболической и может быть описана уравнением:

$$\beta_0 - \beta_n = k : (D^n + \lambda) + L,$$

где  $\beta_0$  - содержание  $\text{CO}_2$  в исходной руде, %;  
 $\beta_n$  - содержание  $\text{CO}_2$  в подситовом продукте, %;  
 $D$  - крупность разделения, см;  
 $k, \lambda, L, n$  - коэффициенты.

При условии что известен размер максимального куска в разделённой руде ( $D_m$ ), после обработки практических данных были получены уравнения для определения содержания карбонатов в подситовом (обогащенном) продукте для бокситов всех шахт Ю "СУБР". Так, для бокситов шахты 13-13-бис уравнение имеет вид:

$$\beta_n = \beta_0 + \frac{4,50 \cdot (\beta_0 - 0,45) \cdot (D^{0,63} - D_m^{0,63})}{(D^{0,63} + 4,50) \cdot (D_m^{0,63} + 0,54)}$$

Для проверки адекватности полученных зависимостей был выполнен дисперсный анализ. Рассчитанный критерий Фишера для уравнений всех шахт (3,8-1,9) меньше значения  $F_{\text{табл.}}(0,1 \text{ ед.})$ .

Таким образом, выведенные уравнения адекватно описывают зави-

симультанно  $\rho_0 - \rho = f(x)$  для дисперсных бокситов шахт ПО "СУБР" и могут быть использованы для предварительных расчетов технологических показателей процесса грохочения боксита по любому классу разделения.

В процессе обогащения бокситов отдельных шахт объединения было установлено (рис. 2), что выделение крупнокусковой фракции +100 мм позволяет на 0,5-0,7% снизить содержание  $\text{CO}_2$  в обогащенном (подситовом) боксите шахт I3 и I4 и на 1,0-1,5% - шахт 9 и I6. Так, в результате простой и эффективной операции грохочения удается выделить обогащенный подрешетный продукт, пригодный для производства глинозема по способу Байера без проведения дополнительных операций обогащения. Крупнокусковая фракция, содержащая от 7,5 до 10%  $\text{CO}_2$ , не может быть эффективно переработана на глинозем и нуждается в обогащении.

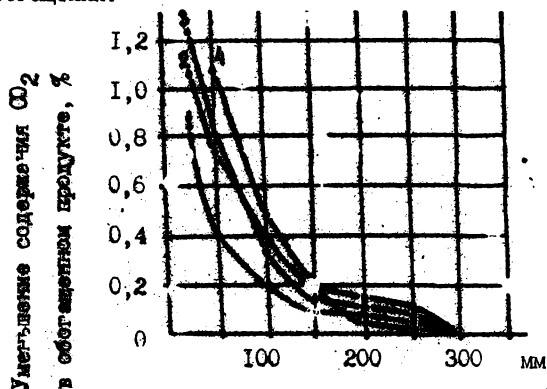


Рис. 2. Зависимость ( $\rho_0 - \rho$ ) от класса крупности разделяемого боксита шахт ПО "СУБР": 1 - шахта I3-I3; 2 - шахта I4-I4; 3 - шахта I6-I6, 4 - шахта 9-9

Исследование контрастности крупнокусковой фракции показало, что она является хорошим сырьем для радиометрического обогащения.

Для оценки сырьевых предпосылок и принципиальной возможности применения радиометрических методов к обогащению рудных рудно-глинозема бокситов месторождений Урала и Казахстана была выполнена серия исследований. Установлено, что практически все исследуемые руды могут быть отнесены к категории контрастных руд по двум компонентам  $\text{CO}_2$  и  $\text{SiO}_2$ , так как показатели контрастности состав-

ляют 0,84-1,59 ед. По силикату и кремниевому модулю бокситы Северного Казахстана также относятся к категории контрастных руд ( $M = 0,62-1,00$ ), а бокситы Урала, - в основном к категории малоконтрастных и труднообогатимых руд.

Расчитаны теоретические показатели разделения. Так, при выходе низкокачественного продукта 8,2-14 % из бокситов Северного Урала (фракция +100 мм) можно получить обогащенный боксит с содержанием  $CO_2$  на 4,5%, серы на 1,1% и  $SiO_2$  на 0,8% ниже, чем в исходном сырье при одновременном повышении кремниевого модуля на 6 ед.

Для оценки показателя признака разделения кусков боксита и вмещающих пород рассмотрены радиорезонансный, фотометрический и рентгенорадиометрический методы. Обоснована возможность их применения для сепарации бокситов Урала и Казахстана.

С целью экспериментальной проверки результатов лабораторных исследований в 1985-1986 годах проведены испытания по радиометрическому обогащению на укрупненных (1,5-2 тонны) пробах руды с использованием промышленных сепараторов конструкции НПО "Сибцветметавтоматика" (табл. 3). Наиболее эффективным оказался вариант разделения руды с применением рентгенорадиометрической сепарации, в результате которой из алюмокарбонатного сырья с содержанием 20,57%  $CO_2$  выделено 37,7% байеровского боксита, содержащего 3,69%  $CO_2$  и имеющего кремниевый модуль 17,0 ед. (0,83 ед. - в исходном). В хвосты сепарации извлечено 95,56% карбонатов, которые могут быть использованы для шихтовки со спекательным бокситом. Высокая эффективность применения рентгенорадиометрического метода для удаления карбонатов подтверждается сравнительным анализом.

Впервые в мировой практике показана возможность радиометрического обогащения бокситового сырья, определены пороги разделения литологических разновидностей боксита для различных методов сепарации. Показано, что для рентгенорадиометрической сепарации оптимальные пороги процесса разделения - 0,5-0,7 усл. ед. (рис.3).

Оценена возможность предварительного концентрирования бокситов методами радиометрической сепарации по редким элементам. Установлено, что при КДФ более 35,5% методом фотометрической сепарации выделяется продукт, содержащий более 56 г/т скандия (в 2,5 раза выше, чем в хвостах), представленный главным образом некондиционными бокситами - серым пиритизированными, пестроцветными, пофирничными. Рентгенорадиометрическая сепарация также мо-

Таблица 3  
 Результаты укрупненных испытаний по радиометрической сепарации бокситов Урала

Продукты сепарации	Выход, %	Содержание, %				Кремниевый модуль, ед.	Извлечение, %		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ.</sub>		SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ.</sub>
Радиорезонансная сепарация									
Обогащенный боксит	59,90	50,40	5,04	2,47	2,06	10,00	50,74	43,52	46,32
Хвосты сепарации	40,10	46,10	7,31	4,79	3,60	6,30	49,26	56,48	53,68
Исходный боксит	100,00	46,67	5,95	3,40	2,59	8,18	100,00	100,00	100,00
Фотометрическая сепарация									
Обогащенный боксит	63,50	43,76	2,26	11,16	1,05	18,88	84,42	37,84	61,17
Хвосты сепарации	36,50	17,14	0,73	31,96	1,16	23,07	15,58	62,16	38,83
Исходный боксит	100,00	34,04	1,70	18,76	1,09	20,00	100,00	100,00	100,00
Рентгенорадиометрическая сепарация									
Обогащенный боксит	37,70	50,63	2,87	3,69	1,32	17,61	48,14	4,44	44,04
Хвосты сепарации	62,30	14,82	2,90	31,30	1,01	8,11	51,86	95,56	55,96
Исходный боксит	100,00	28,41	2,89	20,57	1,13	9,83	100,00	100,00	100,00

Таблица 4

Сравнительный анализ результатов лабораторных исследований и испытаний радиометрической сепарации

Метод разделения	Извлечение в хвосты сепарации, %					
	по лабораторным данным			по данным испытаний		
	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ</sub>	SiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ</sub>	SiO <sub>2</sub>
Радиорезонансный	65,65	57,65	64,86	56,48	53,68	49,26
Фотометрический	86,01	68,08	42,14	62,16	38,83	15,58
Рентгенорадиометрический	98,62	67,07	58,82	95,56	55,96	51,86

жет быть использована для кондиционирования скандия. Радиорезонансным методом удастся выделить не только концентрат с повышенным содержанием скандия, но и резко повысить в хвостах (до 740 г/т) содержание лития. Объектом предварительного кондиционирования бокситов по редким элементам могут быть хвосты радиометрического обогащения крупнукусковой фракции бокситов ПО "СВБР".

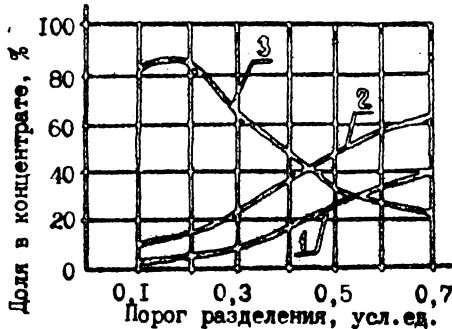


Рис. 3. Зависимость распределения минералов по продуктам рентгенорадиометрической сепарации от порога разделения: 1 — железосодержащие минералы (тамозит, пирит, гематит, магнетит); 2 — сумма полезных минералов (диаспор, корунд, бемит); 3 — сумма вредных минералов (тамозит, кварц, пирит, кальцит, доломит)

оценка контрастности бокситов по показателю, предложенному Л.А. Мокроусовых по отдельным компонентам, не дает полной картины о полезных и вредных веществах данной руды. Поэтому был разрабо-

тан комплексный показатель контрастности бокситов, учитывающий неравномерность распределения всех вредных компонентов по отдельным кускам (фракциям) боксита с учетом доли их вредного влияния на производство глинозема. В глиноземном производстве введено определение комплексного показателя качества Б" (бокситового критерия), которое в общем виде представл.ет собой выражение:

$$B = (Al_2O_3 - a_1 SiO_2 - a_2 Fe_2O_3 - a_3 CO_2 - a_4 S + a_5 CaO + a_6 \text{III} - a_7) \cdot K,$$
 где III - потери при прокаливании, %;

$a_1, Fe_2O_3, CO_2, S, CaO, Al_2O_3$  - содержания в боксите соответствующих компонентов, %;

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  - коэффициенты, принимающие конкретные значения в зависимости от используемой технологии переработки бокситов, ед.;

$K$  - коэффициент, зависящий от способа переработки бокситов, ед.

Расчет "бокситового критерия" для каждого отдельного куска или фракции бокситовой руды, а также определение показателя контрастности осуществляется по формуле:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (B_i - B_0) \cdot \gamma_i}{B_0},$$

где  $B_i$  - бокситовый критерий отдельного куска (фракции), ед.;

$B_0$  - бокситовый критерий руды, ед.;

$\gamma$  - выход отдельного куска (фракции), ед.

Данный расчет связан с значительными затратами на обработку результатов исследований и используется совместно с вычислительными программами для ЭВМ.

Предложен еще один вариант для оценки комплексного показателя контрастности только по содержанию вредных примесей - "В" (вредность). В зависимости от способа последующей переработки бокситов он определяется по уравнениям:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [0,339 \cdot (x_i - x_0) + 0,303 \cdot (y_i - y_0) + 0,358 \cdot (z_i - z_0)] \cdot \gamma_i}{0,339 \cdot x_0 + 0,303 \cdot y_0 + 0,358 \cdot z_0}$$

- для бокситов, перерабатываемых по способу Байера;

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [0,234 \cdot (x_i - x_0) + 0,766 \cdot (z_i - z_0)] \cdot \gamma_i}{0,234 \cdot x_0 + 0,766 \cdot z_0}$$

- для бокситов, перерабатываемых по способу спекания,

где  $x_i, y_i, z_i$  - соответственно содержание в исследуемом  $i$ -том куске (фракции)  $SiO_2, CO_2$  и  $S, \frac{\%}{100}$ ;

$x_0, y_0, z_0$  - соответственно содержание в исходной руде  $SiO_2,$



$CO_2$  и S, %.

Использование комплексного показателя "вредность" ( $B_i$ ) позволит в отличие от общепринятых показателей по отдельным компонентам ( $SiO_2$ ,  $CO_2$ , S) однозначно ответить на вопрос о наиболее эффективном методе радиометрической сепарации бокситов (табл. 5).

Таблица 5  
Признак разделения по комплексному показателю " $B_i$ "  
(бокситы ПО "СВБР")

Показатель	Фотометрическая сепарация	Радиорезонансная сепарация		Рентгенорадиометрическая сепарация
		по $\Delta Q$	по $\Delta M$	
Признак разделения, ед.	0,49	0,30	0,38	0,57

При этом эффективность сепарации составила: рентгенорадиометрической - 95%, фотометрической - 81, %, радиорезонансной по  $\Delta M$  - 63,3% и по  $\Delta Q$  - 50%.

Используя результаты исследований и испытаний по предварительному пробоочечению и радиометрической сепарации, были разработаны технологические схемы обогащения различных типов и месторождений на стадии рудоподготовки. Одна из предложенных схем по обогащению диаспоровых бокситов Северного Урала будет реализована на ПО "Севералюкситруд" в составе опытно-промышленной обогатительной фабрики производительностью 200 тыс. тонн боксита в год. Расчетный ожидаемый эффект составляет 253 тыс. рублей в год.

В пятом разделе изложены результаты взаимодействия флотореагентов с основными разделяемыми минералами диаспоровых бокситов в слабощелочной и щелочно-алюминатной среде, разработана и проверена в полупромышленном и промышленном масштабах технология флотации бокситов, показала принципиальная возможность флотационного обогащения бокситов в технологических средах глиноземного производства.

Исследования механизма взаимодействия олеиновой кислоты и жидкого стекла в содовой среде с поверхностью минералов диаспора и кальцита, выполненные с помощью инфракрасной спектроскопии, позволили установить:

флотации - жидкое стекло - 450-750 г/т, pH флотационной пульпы, со даваемое содой - 9,5-10,0 ед. I. стадии лабораторных и исследований из оксидов ПУБРА и ПО "С/БР", содержащих 3-5%  $\text{CO}_2$  был получен обогащенный боксит с содержанием  $\text{CO}_2$  менее 1%. При этом извлечение карбонатов в пенный продукт составило 80-82%.

Учитывая дефицит и высокую стоимость олеиновой кислоты были выполнены исследования и показана при этом возможность ее замены отходами Нижне-Тагильского завода класс маас - техническими жирными кислотами (ТЖК). Установлено, что при расходе ТЖК - 1200 г/т жидкого стекла - 900 г/т и в сококарбонатного боксита (11%  $\text{CO}_2$ ) достигается извлечение карбонатов в концентрат - 81%.

Перед карбонатной флотацией проводили флотационное удаление сульфидов, для чего использовали в качестве активатора медный купорос (180 г/т), собиратель - бутиловый асфалогенат калия (300 г/т) и вспениватель Т-66 (30 г/т).

В пол. заводском масштабе неоднократно был проверен реагентный режим флотационного обогащения диаспоровых и бемит-диаспоровых оксидов, установленный в лабораторных условиях, а также определены параметры процесса измельчения, классификации исходного боксита и обезвоживания продуктов обогащения.

Органические вещества оказывают отрицательное влияние на процесс производства глинозема по способу Байера. Так как при флотации в качестве флотореагентов используются органические вещества, то были проведены исследования по распределению " $\text{C}_{\text{орг}}$ ", входящего в исходный боксит и внесенного с реагентами. Установлено, что содержание " $\text{C}_{\text{орг}}$ " в обогащенном боксите меньше (0,4%), чем в исходном (0,52%). Наиболее высокое содержание органических соединений обнаружено в пыльном концентрате (2,84%). Определено, что при обезвоживании обогащенного боксита после сгущения необходимо дополнительное осветление при расходах полиакриламида - 10 г/т и железного купороса - 4 кг/т, что позволяет получить слив с содержанием твердого 1,2 г/т. При фильтрации сгущенного продукта получен концентрат с содержанием влаги 13,5%.

По результатам полупромышленных испытаний предложена технологическая схема флотационного обогащения бокситов шрала, которая была испытана в промышленных условиях на Цыминской обогатительной фабрике.

1) химическая сорбция собирателя происходит с образованием труднорастворимых солей кальциевых и железистых - на кальците, алюминивых и железистых - на диаспоре. Кроме того, наблюдается и физическая сорбция молекул  $H_2O$ . Полислингте химическое закрепление олеиновой кислоты на поверхности минералов, а также сочетание химической и физической сорбций улучшает флотацию;

2) обработка минералов раствором жидкого стекла при  $pH = 7-11$  приводит к образованию сложных спектров, содержащих полосы поглощения карбонатов, силикатов и гидроксидов. В инфракрасных спектрах гильцы фиксируются четко выраженные полосы поглощения ( $1060-1150 \text{ см}^{-1}$ ), относящиеся к адсорбируемому минералом силикогелю. Это свидетельствует о наличии цепочечной структуры ( $Si_2O_7$ ) адсорбированного реагента на поверхности кальцита;

3) предварительная обработка минералов щелочным жидким стеклом, а затем раствором олеиновой кислоты в содовой среде при  $pH = 9-10$  незначительно снижает долю химически и физически сорбированного реагента ( $H_2O$ ) на кальците; на диаспоре в этом случае наблюдается резкое уменьшение сорбции собирателя. Наибольшая сорбция олеиновой кислоты на поверхности кальцита, по сравнению с сорбцией на диаспоре, обеспечивает достаточную гидробилизацию поверхности кальцита и его хорошую флотирваемость.

На поверхности диаспора в щелочно-алюминатных растворах химически сорбируется гидроалюмосиликат натрия типа тодалита, цеолита и канкринита. Об этом свидетельствуют ИК-спектры поглощения, соответствующие алюмокремнекислородному каркасу ( $990 \text{ см}^{-1}$ ), группе  $CO_3^{2-}$  ( $1140, 1380, 1415, 1495 \text{ см}^{-1}$ ) и  $OH^-$  ( $1530 \text{ см}^{-1}$ ). На кальците образуется трехкальциевый гидроалюминат. Последующая обработка минералов олеиновой кислотой показала, что на поверхности диаспора закрепление собирателя практически не наблюдается. В то время как на кальците достаточно четко фиксируются полосы поглощения в области  $1400-1500 \text{ см}^{-1}$  (химическое закрепление), и  $1720 \text{ см}^{-1}$  (физическая сорбция).

Результаты исследований по взаимодействию флотореагентов с минералами бокситов послужили основанием для разработки технологии флотационного обогащения диаспоровых и бемит-диаспоровых бокситов Урала.

В результате лабораторных исследований и полупромышленных испытаний определен оптимальный реагентный режим карбонатной флотации: собиратель - олеиновая кислота - 600 г/т, регулятор

Промышленные испытания такого масштаба по обогащению бокситов были проведены впервые в отечественной практике на трех пробах бокситов ПУБРА и ПО "СУБР" общей массой 26538 тонн. Были подтверждены ранее разработанные и испытанные в полупромышленных условиях реагентные режимы флотации и условия подготовки сырья к обогащению. Среднестатистические технологические показатели процесса флотации приведены в табл. 5.

Пределные достигнутые показатели на боксите ПО "СУБР" составили: по извлечению - 93,5% серы в пиритный и 81%  $\text{CO}_2$  в карбонатный концентраты, по содержанию в обогащенном продукте вредных примесей - 0,11% серы и 1,4%  $\text{CO}_2$ . Еще более высокие показатели достигнуты при обогащении бокситов ПУБРА - извлечение серы 97,4% в пиритный и 90,4%  $\text{CO}_2$  в карбонатный концентраты при содержании в обогащенном боксите  $S_{\text{общ.}}$  - 0,05% и  $\text{CO}_2$  - 1,21% (против 10,29%  $\text{CO}_2$  и 2,18%  $S_{\text{общ.}}$  в исходном).

В лабораторных условиях были исследованы варианты флотационного обогащения бокситов в технологических средах глиноземного производства. Была подтверждена эффективность совмещения технологических сред для обогащения и производства глинозема и установлена возможность использования для флотации: 1) промывных растворов ветви Байера (разбавленных в 100 раз); 2) маточных растворов, содержащих до 150 г/дм<sup>3</sup> щелочи; 3) оборотных щелочно-алюминатных растворов, содержащих до 300 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{O}$  общ.; 4) исследована возможность удаления сульфидов непосредственно из спекательных содовых шихт глиноземного производства. Было установлено, что флотация бокситов в щелочно-алюминатных растворах ветви Байера позволяет повысить кремниевый модуль на 2-4 ед. и частично уменьшить содержание  $\text{CO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Сульфиды из спекательной шихты удаляются на 74%.

В шестом разделе рассмотрены вопросы комплексного использования продуктов радиометрического и флотационного обогащения, а также утилизации полупродуктов и отходов горнорудного производства.

На различных этапах обогащения бокситов в результате операций избирательного грохочения, радиометрической сепарации и флотации был выделен обогащенный боксит, который по своему качеству (содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и вредных примесей  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $S_{\text{общ.}}$ ) отвечал требованиям, предъявляемым к байеровским бокситам. Выполненные исследования по его переработке на глинозем по способу Байе-

Таблица 6  
 Результаты промышленных испытаний по флотационному обогащению бокситов Урала

Продукты флотации	Выход, %	Содержание, %				Кремниевый модуль, ед.	Извлечение, %			
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ.</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	S <sub>общ.</sub>
Боксит шахты № 14 ПО "СВЕР"										
Пиритный концентрат	6,79	23,73	37,30	2,40	28,79	9,42	3,37	16,69	2,48	86,12
Карбонатный концентрат	17,23	20,92	6,52	26,65	0,55	10,73	7,54	7,40	69,96	4,17
Обогащенный боксит	75,98	56,01	15,16	2,38	0,29	12,07	89,09	75,91	27,55	9,71
Исходный боксит	100,00	47,77	15,70	6,56	2,27	11,85	100,00	100,00	100,00	100,00
Крупнокусковая фракция ПО "СВЕР" (откат)										
Пиритный концентрат	4,62	25,94	29,67	5,39	25,68	8,26	2,36	8,53	5,11	84,67
Карбонатный концентрат	13,44	23,21	7,93	24,75	0,50	11,10	6,15	6,64	68,30	4,79
Обогащенный боксит	81,94	56,67	16,62	1,58	0,18	16,87	91,49	84,82	26,58	10,52
Исходный боксит	100,00	50,75	16,05	4,87	1,40	16,53	100,00	100,00	100,00	100,00
Боксит ЮВРга										
Пиритный концентрат	8,42	27,90	29,86	5,09	22,68	6,14	5,86	19,60	4,46	86,02
Карбонатный концентрат	27,26	19,42	4,99	27,17	0,69	4,84	13,19	10,60	77,07	8,47
Обогащенный боксит	64,32	50,49	13,93	2,76	0,19	6,17	80,95	69,80	18,47	5,51
Исходный боксит	100,00	40,12	12,83	9,61	2,22	5,95	100,00	100,00	100,00	100,00

ра показали, что снижение содержания вредных примесей в обогащенном боксите существенно повышает извлечение глинозема, а также скорость перехода  $Al_2O_3$  в щелочно-алюминатный раствор.

Карбонатный концентрат флотации и хвосты радиометрической сепарации, содержащие более 60%  $CaCO_3$  и менее 20  $Al_2O_3$  могут быть переработаны на глинозем по способу спекания. При этом вредные для процесса Вайера карбонаты являются необходимым компонентом спекательной шихты. Было исследовано влияние каустического модуля, температуры спекания, продолжительности спекания и выщелачивания спеков. Установлено: 1) с ростом температуры спекания от 1000 до 1200°C увеличивается извлечение щелочи и  $Al_2O_3$  при выщелачивании спеков; 2) за 30-35 минут спекания достигается извлечение глинозема 96% и щелочи 98%; 3) оптимальная продолжительность выщелачивания спеков 20-30 минут. Использование карбонатного концентрата при спекании вместо известняка позволяет уменьшить загрязнение алюминатного раствора (в 1,8-2,0 раза) кремнеземом.

Исследована возможность использования пиритного концентрата, выделенного из боксита флотацией при окислении никелевой руды, определены оптимальные условия окисления и влияния пиритного концентрата на распределение никеля и кобальта в продуктах шахтной плавки окисленных никелевых руд. В процессе работы исследовано влияние состава шихты на показатели брикетирования, а также влажности и давления прессования на прочность брикетов. Было показано, что использование пиритного (а также и карбонатного) концентратов в шихте брикетирования создает предпосылки для повышения производительности процесса, так как формирование штейна и шлака происходит в жидкой и твердой фазе при подплавлении и размягчении брикетов. Это предопределяет частичную, а при получении более прочных брикетов полную замену кускового известняка карбонатным концентратом в шихте брикетирования.

Алюмокарбонатное сырье, представленное боксит-известняковой смесью и направляемое ранее в отвал, в большей степени, чем рядовой боксит ПО "СВР", пригодно для обогащения методом избирательного грохочения. В результате промышленных испытаний на пробе алюмокарбонатного сырья массой 2,5 тыс. тонн было установлено, что в классах крупностью менее 3-5 мм содержание  $Ca_2$  не превышает 0,3%.

Кроме предварительного обогащения, были разработаны другие варианты утилизации алюмокарбонатного сырья. Одно из наиболее

перспективных направлений использования алюмокарбонатного сырья — это его переработка на глинозем и способ спекания. Промышленные испытания по переработке алюмокарбонатного сырья на глинозем в переделе спекания БАЗа проведены на трех пробах общей массой более 35 тыс. тонн. В результате серии промышленных испытаний было показано, что существенных отклонений от основных технологических норм не наблюдается. Некоторые показатели, полученные в период испытаний, несколько превышали базовые цифры (извлечение  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ , улучшение измельчения), а другие были несколько ниже ранее достигнутых — плохой ввод в процесс алюмокарбонатного сырья с повышенной влажностью, высокое содержание серы и повышенный выход содосульфатной смеси. По результатам промышленного испытания был сделан вывод о целесообразности замены спекательного боксита Южно-Уральских месторождений на алюмокарбонатное сырье в составе спекательной шихты Богословского алюминиевого завода. Начиная с 1979 года БАЗом перерабатывалось 120–200 тыс. тонн алюмокарбонатного сырья в год, что позволило получать годовой экономический эффект на ФАЗе от 100 до 180 тыс. рублей и на ПО "СУВР" от 180 до 311 тыс. рублей (а.с. К 766147).

Другим направлением утилизации алюмокарбонатного сырья является его использование для производства глиноземистых шлаков и чугуна в доменном процессе. Опытная плавка алюмокарбонатного сырья (8 тыс. тонн) при полной замене боксита осуществлялась в течение 26 суток непрерывно на Алапаевском металлургическом заводе. Анализ показателей плавки позволил установить, что алюмокарбонатное сырье может использоваться в качестве заменителя высококачественного боксита для выплавки алюмокальциевых шлаков. За счет снижения стоимости сырья снизилась себестоимость выплавки титанистых шлаков на 2 рубля на 1 тонну алюмокарбонатного сырья и только за одну опытную плавку был получен фактический экономический эффект в 16 тыс. рублей.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате изучения литологического и минерального состава различных типов бокситов, их физико-механических, радиометрических и химических свойств, разработки принципов и основ радиометрического и флотационного обогащения в диссертации научно обоснованы технологические решения повышения качества бокситов, имеющие большое народнохозяйственное значение.

1. Исследовано распределение минералов и малых примесей, в первую очередь редких элементов, в литологических разновидностях бокситов различных месторождений. Изучены физико-механические характеристики, радиометрические свойства бокситов и вмещающих пород. Это позволило сформулировать основные принципы обогащения бокситов путем разделения их по литологическим разновидностям на стадии рудоподготовки.

2. Выявлены основные закономерности поведения вредных примесей, содержащихся в бокситах, при автоклавном выщелачивании в щелочно-алюминатных растворах глиноземного производства. Изучено взаимное влияние основных вредных компонентов бокситов: карбонатов, серы и кремнезема на технологические показатели процесса Байера. Впервые предложена трехфакторная модель автоклавного процесса на базе теоретических исследований выщелачивания боксита в синтетических щелочно-алюминатных растворах.

3. На базе банка полученных при автоклавном выщелачивании диаспорового боксита экспериментальных данных составлена вычислительная программа, позволяющая решать следующие задачи:

- прогнозировать технологические показатели процесса выщелачивания боксита различного качества;
- выявлять технологические нарушения в процессе работы участков выщелачивания;
- определять оптимальный состав шихты из бокситов различного качества в ветви Байера.

4. Установлены основные закономерности распределения компонентов диаспоровых бокситов по классам крупности. Показано, что зависимость  $\beta_0 - \beta = f(D)$  подобна гиперболической и описывается уравнением  $\beta_0 - \beta = k(D^n + 1) + L$ . Выведенные уравнения по определению показателей грохочения от класса разделения ( $D$ ) и максимальной крупности куска руды ( $D_m$ ) для всех шахт ПО "СЭР" могут быть использованы для прогнозирования эффективности предварительного обогащения бокситов разделением по крупности.

5. Исследована контрастность диаспоровых, диаспор-бемитовых и каолинит-гипсбитовых бокситовых руд Урала и Казахстана. Установлено, что большинство исследованных руд являются контрастными по карбонатам и сульфидам ( $M = 0,84-1,59$  ед.). По кремнеземсодержащим минералам контрастными является только бокситы Северного Казахстана ( $M = 0,62-1,00$  ед.), а бокситы Урала относятся к категории малоконтрастных и труднообогащаемых руд.



6. Проведены системные исследования оптических, электромагнитных и ядерно-физических характеристик литологических разновидностей бокситов Урала и Казахстана. Установлено, что наиболее эффективным методом концентрирования бокситов по карбонатам и кремнеземсодержащим минералам является рентгенорадиометрическая сепарация.

7. Предложены варианты оценки комплексного показателя контрастности и признака разделения бокситов по бокситовому критерию ( $B_i$ ) и показателю "вредность" ( $B_i$ ), которые учитывают неравномерность распределения одновременно всех вредных компонентов (а бокситовый критерий - всех минералов: полезных, вредных и балластных) по отдельным кускам (фракциям) с учетом доли их вредного влияния на производство глинозема и способа переработки бокситов.

8. На основании результатов исследований и данных укрупненных испытаний разработаны технологические схемы обогащения различных типов бокситов Урала и Казахстана на стадии рудоподготовки. Одна из схем по радиометрическому обогащению диаспоровых бокситов включена в проект опытно-промышленной обогатительной фабрики производительностью 200 тыс. тонн боксита в год, строящейся на Ю "СУБР". Расчетный эффект от внедрения предложенной технологии составляет 253 тыс. рублей в год.

9. Выполнен комплекс исследований в области глубокого обогащения методом флотации, в частности в принципиально новом направлении - флотации непосредственно в содовых и щелочно-алюминатных технологических средах глиноземного производства. Исследования закономерности закрепления флотационных реагентов на минералах бокситов в слабощелочных и щелочно-алюминатных средах.

10. Разработаны и проверены в полупромышленных условиях конкретные технологические режимы флотационного удаления сульфидов и карбонатов из бокситов Урала. Проведены промышленные испытания флотационной технологии в слабощелочной среде на крупнотоннажных пробах бокситов Ю "СУБР" и ЮБРА, которые подтвердили эффективность предложенного технологического режима.

11. Исследованы вопросы утилизации продуктов обогащения: обогащенного боксита - в цикле производства глинозема по способу Байера, пиритного концентрата - в шахтной плавке окисленных никелевых руд и карбонатного концентрата - в производстве глинозем-

ма по способу спекания. Разработан и частично внедрен комплекс мероприятий по разделению методами классификации алюмокарбонатных пород ПО "СВБР" и переработке их в ветви спекания Богословского алмазничного завода, а также в доменной плавке на чугуны и глиноземистые шлаки на Лапаевском металлургическом заводе.

12. В результате реализации разработанных в данной работе научно-технических решений по повышению качества бокситов и оптимизации их переработки на предприятиях Министерства металлургии СССР получен фактический экономический эффект 545 тыс. рублей. Ожидаемый эффект в случае полного внедрения предложенных технологий составляет 1080 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Радиометрическое обогащение на стадии рудоподготовки бокситов/В.С.Шемякин, Н.Г.Турин, А.В.Останин, А.О.Дмитриев// Науч. техн.бюл. Цветная металлургия.-1984.-№ II.-С.26-28.
2. Обогащение бокситов флуквацией в щелочно-алюминатных растворах/В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, Л.А.Непокрытых, Н.Г.Турин, Л.И.Богданова//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1985.-№ 3.-С.24-26.
3. Федяев Ф.Ф., Шемякин В.С. Флотационное выделение карбонатов из бокситов Северного Урала//Цветные металлы.-1980.-№ 2.-С.88-90.
4. Элементы безотходной технологии разработки бокситов на СВБРе/Ф.А.Гаврилов, Е.С.Горев, Н.С.Васюк, Ю.В.Шилое, Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.М.Уфимцев//Горный журнал.-1979.-№ 10.-С.35-37.
5. О возможности обогащения бокситов Казахстана радиометрическим методом/В.С.Шемякин, А.З.Останин, Н.Г.Турин, А.В.Корончевский, А.М.Труфанов//Комплексное использование минерального сырья.-1981.-№ 8.-С.18-22.
6. Фотометрическая сепарация при обогащении бокситов ЮЗРа/В.С.Шемякин, А.В.Останин, Н.Г.Турин, Е.Ю.Летровский, К.С.Ассанович//Комплексное использование минерального сырья.-1983.-№ 4.-С.66-69.
7. Флотационное удаление сульфидов и карбонатов из бокситов СВБРа в промышленных условиях/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, А.В.Останин, Н.И.Шубин//науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1982.-№ 16.-С.17-19.

8. И пользование аломкарбонатного сырья уральских бокситовых рудников для получения чугуна и высокоглиноземистых шлаков/Б.З.Кудинов, В.В.Каптин, Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, Л.И.Леоньев//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1982.-№ 4.-С.19-21.

9. Варианты радиометрического обогащения бокситов Казахстана/В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев, В.П.Мельцов, Н.Г.Первушин//Комплексное использование минерального сырья.-1988.-№10.-С.28-31.

10. Загисимосьть технологических показателей процесса спекания от качества боксита/В.В.Грачев, Т.А.Непокрытых, В.С.Шемякин, В.С.Анашин, В.В.Салтанов//Перспективы в технологические решения производства глинозема, алюминия и кризиса: Сб.тр./ВАМИ.-Л., 1987.-С.6-11 (ДСП).

11. Федяев Ф.Ф., Шемякин В.С., Салтанов В.В. Флотационное обогащение бокситов СУБРа//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1980.-№ 11.-С.13-14.

12. Обогащение высококарбонатного боксита на флотационном сепараторе Ф-150/В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев, В.А.Лебедев, В.А.Кошелев, В.П.Мельцов//Комплексное использование минерального сырья.-1988.-№ 3.-С.27-29.

13. Укрупненные испытания радиорезонансного обогащения бокситов Урала/В.С.Шемякин, В.А.Лебедев, А.О.Дмитриев, В.А.Кошелев, В.П.Мельцов//Обогащение руд: Сб.науч.тр./ИГМ.-Иркутск.-1986.-С.81-87.

14. Обогащение бокситов СУБРа методом классификации по крупности/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, Ф.Л.Гагарин, Н.С.Васюк, Ю.В.Шидов//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1981.-№ 13.-С.25-28.

15. Кинетика выщелачивания пирита в щелочных и алюминатных растворах/Т.А.Непокрытых, Н.Г.Тюрин, Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин//Изв.ВУЗов. Цветная металлургия.-1981.-№ 4.-С.67-69.

16. Радиометрическое обогащение бокситов/В.С.Шемякин, В.А.Лебедев, А.О.Дмитриев, В.А.Кошелев, В.П.Мельцов//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1988.-№ 1.-С.12-14.

17. Обогащение бокситов на рентгенорадиометрическом сепараторе/В.С.Шемякин, В.А.Лебедев, А.О.Дмитриев, В.А.Кошелев, В.П.Мельцов//Комплексное использование минерального сырья.-1987.-№ 8.-С.28-30.

18. Удаление сульфидов и карбонатов из бокситов Урала методом коллективной флотации/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.В.Салтанов

А.В.Останин, Л.И.Богданова//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия. -1981.-№ 14.-С.14-15.

19. Федяев Ф.Ф., Шемякин В.С., Останин А.В. Оптимальные условия флотационного обогащения бокситов КУБРа//Цветные металлы. -1982.-№ 8.-С.107-109.

20. Обоснование возможности радиометрической сепарации бокситов уральских месторождений/В.П.Мельцов, В.А.Колелев, В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев//Изв.ВУЗов. Горный журнал.-1988.-№ 2.-С.46-51.

21. Удаление сульфидов из спекательной шихты глиноземного производства/В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, Н.Г.Турин, Т.А.Непокрытых//Комплексное использование минерального сырья.-1985.-№ 11.-С.31-33.

22. Флотационное обогащение бокситов Южно-Уральских месторождений на Пышминской обогатительной фабрике/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, А.В.Останин, Л.И.Богданова, М.С.Нажметдинова//Науч.-техн. бюл. Цветная металлургия.-1981.-№ 15.-С.15-18.

23. Федяев Ф.Ф., Шемякин В.С., Останин А.В. Флотационное обогащение бокситов КУБРа//Цветные металлы.-1980.-№ 9.-С.97-98.

24. Пути повышения кремниевого модуля бокситов Урала методами радиометрической сепарации/В.С.Шемякин, А.В.Останин, Н.Г.Турин, А.В.Корончевский, А.М.Труфанов//Изв.ВУЗов. Цветная металлургия.-1984.-№ 3.-С.17-21.

25. Промышленные испытания по флотационному обогащению крупнокусковой фракции бокситов СУБРа/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, А.В.Останин, М.И.Казеев//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1981.-№ 17.-С.14-15.

26. Обогащение бокситов СУБРа методом фотометрической сепарации/В.С.Шемякин, А.В.Останин, Н.Г.Турин, В.Д.Петровский//Комплексное использование минерального сырья.-1983.-№ 2.-С.10-14.

27. Использование пиритного концентрата от обогащения бокситов при пахтной плавке окисленных никелевых руд/В.П.Жуков, И.Ф.Худяков, Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, Н.Г.Агеев//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1981.-№22.-С.21-21.

28. Промышленные исследования процессов дробления, измельчения и классификации уральских бокситов/О.И.Скарин, Ф.Ф.Федяев, Л.Ф.Биленко, А.В.Останин, В.С.Шемякин//Науч.-техн.бюл.Цветная металлургия.-1981.-№ 24.-С.7-12.

29. О возможности обогащения бокситов КУБРа методом фотометрической сепарации/В.С.Шемякин, Ф.Ф.Федяев, А.В.Останин,

Т.В.Макарова,Г.П.Савельев//Изв.ВУЗов. Цветная металлургия.-  
-1982.-№3.-С.5-8.

30. Влияние флотореагентов на производство глинозема/Ф.Ф.Федяев,Т.А.Непокрытых,Г.Г.Завьялова,В.С.Шемякин,Л.М.Скрябнева//  
Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1981.-№ 21.-С.19-22.

31. Федяев Ф.Ф.,Шемякин В.С. Влияние ионного состава жидкой фазы пульпы на флотацию бокситов/Изв.ВУЗов. Цветная металлургия.-1980.-№ 6.-С.3-5.

32. Комплексная переработка бокситов Северного Урала на глинозем/Ф.Ф.Федяев,В.С.Шемякин,Л.Н.Кладикова,В.В.Салтанов//  
Изв.ВУЗов. Цветная металлургия.-1980.-№ 6.-С.27-29.

33. О возможности и целесообразности применения методов обогащения в технологическом цикле производства глинозема/  
В.В.Салтанов,В.С.Шемякин,Н.Г.Тюрин,Т.А.Непокрытых//Комплексное использование минерального сырья.-1986.-№ 3.-С.91-92.

34. Тенденция развития сырьевой базы и технологии глиноземного производства на Урале/В.В.Грачев,Т.А.Непокрытых,  
В.С.Шемякин,В.В.Салтанов,Н.Г.Тюрин//Комплексное использование минерального сырья.-1986.-№ II.-С.41-44.

35. Федяев Ф.Ф.,Шемякин В.С.,Кинев Г.С. Отработка Южно-Уральских бокситовых месторождений//Обогащение руд: Сб.науч. тр./ИИИ.-Иркутск,1983.-С.110-115.

36. Применение беззатходной технологии при разработке уральских бокситовых месторождений/Ф.Ф.Федяев,В.С.Шемякин,Ф.Л.Гаврилов,  
В.А.Скропышев,В.М.Уфимцев//Науч.-техн.бюл. Цветная металлургия.-1983.-№ 19.-С.24-26.

37. Новоженев В.М.,Шемякин В.С.,Непокрытых Т.А. Разубоживающая порода - основной источник серы глиноземного производства//  
Комплексное использование минерального сырья.-1988.-№ II.-С. 55-58.

38. Литолого-минералогическое обоснование рентгенорадиометрической сепарации бокситов Северного Урала/В.П.Мельцов,В.А.Кошелев,  
В.С.Шемякин,А.О.Дмитриев,К.А.Копалева//Изв.ВУЗов. Горный журнал.-1988.-№ 8.-С.28-35.

39. Федяев Ф.Ф.,Шемякин В.С.,Тюрин Н.Г. Взаимодействие жидкого стекла и олеиновой кислоты с минералами бокситов//Обогащение руд: Сб.науч. тр./ИИИ.-Иркутск,1982.-С.15-23.

40. Флотационное выделение карбонатов из бокситов Южного Урала/Ф.Ф.Федяев,В.С.Шемякин,А.В.Останин,Л.И.Богданова//Изв.

ВУЗов. Цветная металлургия. - 1981. - № 4. - С. 67-69.

41. Предварительное флотационное удаление из боксита СУВРа сульфидов и карбонатов улучшает показатели выщелачивания/Ф.Ф.Федяев, Л.Н.Кладикова, Т.А.Непокрытых, В.С.Шемякин//Цветные металлы. - 1981. - № 2. - С. 104-106.

42. Органические соединения в процессе флотационного обогащения и переработки бокситов Урала/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, М.Д.Собанцева, В.В.Салтанов//Обогащение руд: Сб. науч. тр./ИИИ. - Иркутск, 1980. - С. 67-71.

43. Поиск заменителей олеиновой кислоты для флотационного выделения карбонатов из бокситов/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, Л.И.Богданова, Л.Н.Захарова, Р.П.Русакова//Обогащение руд: Сб. науч. тр./ИИИ. - Иркутск, 1980. - С. 93-98.

44. Испытания радиорезонансной сепарации бокситов/В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев, А.В.Макаров, В.П.Мельцов, Н.Г.Первушин//Науч.-техн. бюл. Цветная металлургия. - 1989. - № 10. - С. 21-23.

45. Оптимизация байеровской шихты глиноземного производства А.О.Дмитриев, В.С.Шемякин, В.А.Лебедев, Т.А.Непокрытых//Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. - 1989. - № 4. - С. 63-68.

46. Взаимное влияние сульфидов, карбонатов и хлоритов на их извлечение в щелочно-алюминатный раствор/В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев, Т.А.Непокрытых, В.А.Лебедев, В.С.Аналкин//Комплексное использование минерального сырья. - 1989. - № 10. - С. 62-67.

47. Взаимное влияние карбонатов, сульфидов и хлоритов на технологические показатели процесса автоклавного выщелачивания бокситов/В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев, Т.А.Непокрытых, В.С.Аналкин, В.А.Лебедев//Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. - 1989. - № 2. - С. 47-51.

48. Мельцов В.П., Шемякин В.С., Первушин Н.Г. Гиббситовые бокситы Казахстана и их обогатимость радиометрическими методами/Свердл., СИПИ. - 1988. - II с. - Деп. в КИМС 30.05.88, № 4269-В88.

49. Исследования обогащения каолинит-гиббситовых бокситов Северного Казахстана по крупности/Н.Г.Первушин, В.С.Шемякин, К.И.Итименов, В.П.Мельцов/Свердл., СИПИ. - 1988. - 7 с. - Деп. в КИМС 30.05.88, № 4268-В88.

50. Комплексное использование бокситов и алюмокарбонатного сырья Северного Урала/С.И.Кузнецов, Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.В.Салтанов//Комплексное использование металлургического сырья: Сб. науч. тр./ИИИ, 1978. - С. 77-81 (ДС1).

51. Переработка низкокачественных бокситов СУВРа и Казахстана-

на с использование методов обогащения и без обогащения/Ф.Ф.Федяев, В.И.Федосеев, С.И.Кузнецов, В.С.Шемякин, В.В.Салтанов//Материалы заседания секции легких металлов научно-технического совета МЦМ СССР/Павлода, 1976.-С.95-106. (ДСП).

52. Федяев Ф.Ф., Шемякин В.С., Салтанов В.В. Обогащение бокситов Северного Урала//Разработка безотходной технологии обогащения руд редких и цветных металлов:Тез.докл.Всесоюз.семинара.-Симферополь, 1979.-С.37-38.

53. К вопросу о безотходной технологии отработки уральских бокситовых месторождений/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, Ф.Л.Гаврилов и др//Безотходная технология переработки полезных ископаемых:Тез.докл.Всесоюз.совещ.-М., 1979.-С.73-75.

54. Межотраслевой промышленный комплекс по добыче, обогащению и переработке бокситов Урала/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, Т.А.Непокрытых// П Всесоюзная конференция по комплексному использованию руд и концентратов:Тез.докл.-М., 1983.-ч.3.-С.4-6.

55. Фотометрическая сепарация в комплексном использовании алюминийсодержащего сырья Урала/В.С.Шемякин, А.В.Останин, Н.Г.Турин, В.Ю.Петровский//П Всесоюзная конференция по комплексному использованию руд и концентратов:Тез.докл.-М., 1983.-ч.3.-С.6-7.

56. Шемякин В.С., Лебедев В.А., Дмитриев А.О. Радиометрическое обогащение бокситов Урала//Разработка и внедрение энергосберегающих малоотходных технологий в металлургии цветных и редких металлов:Тез.докл.Всесоюз.науч.-техн.конф.-М., 1986.-С.14-15 (ДСП).

57. А.с. 1434704 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01 F 7/04. Способ обогащения алюминийсодержащего сырья/В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, А.О.Дмитриев и др.-№ 4189898/23-02; Заявлено 04.02.87;-(ДСП).

58. Шемякин В.С., Дмитриев А.О. Комплексный показатель контрастности и признака разделения при радиометрическом обогащении бокситов//Изв.ВУЗов. Цветная металлургия.-1990.-№ 1.-С.19-25.

59. А.с. 1297395 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01 F 7/00. Способ обогащения алюминийсодержащего сырья/В.С.Шемякин, А.О.Дмитриев, Т.А.Непокрытых и др. (СССР).-№ 3915120/31-02; Заявлено 19.06.85;-(ДСП).

60. А.с. 1282461 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01 F 7/04. Способ переработки диаспоровых бокситов/В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, Т.А.Непокрытых и др. (СССР).-№ 3917376/22-02; Заявлено 28.06.85;-(ДСП).

61. А.с. 1272654 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01 F 7/38. Шихта для производст-

ва глинозема/В.С.Шемякин, Т.А.Непокрытых, В.В.Салтанов и др. (СССР).-№ 3852290/22-02; Заявлено 06.02.85;-(ДСП).

62. А.с. И157744 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 03В 9/00. Способ переработки бокситоносного сырья/В.С.Шемякин, А.В.Останин, В.М.Уфимцев и др.(СССР).-№ 3606609/22-03; Заявлено 08.06.83;-(ДСП).

63. А.с. I092I42 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01F 7/04. Способ переработки бокситов/В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, Ф.Ф.Федяев и др.(СССР).-№3199484/22-02; Заявлено 15.10.82; -БИ-1984.-№ 18.

64. А.с. 766I47 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01F 7/38. Способ переработки боксита на глинозем/Ф.Ф.Федяев, Т.А.Непокрытых, В.С.Шемякин и др.(СССР).-№ 2766737/22-02; Заявлено 13.04.79;-(ДСП).

65. А.с. I44775I СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01F 7/00. Способ обогащения сидеритизированных бокситов/Н.Г.Первушин, В.С.Шемякин, В.П.Мельцов и др.(СССР).-№ 42I5659/3I-02; Заявлено 25.03.87; БИ-1988.-№ 48.

66. А.с. 865805 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 01F 7/04. Способ переработки диаспоровых бокситов/Ф.Ф.Федяев, В.С.Шемякин, В.М.Корус и др.(СССР).-№ 2784920/22-02; Заявлено 26.06.79; -БИ.-198I.-№ 35.

67. А.с. I088259 СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01F 7/04. Способ переработки бокситов/Ф.Ф.Федяев, Т.А.Непокрытых, В.С.Шемякин и др.(СССР).-№ 3528429/22-02; Заявлено 07.09.82.- (ДСП).

68. А.с. I46886I СССР, МКИ<sup>2</sup> С 01F 7/04. Способ переработки низкокачественных диаспоровых бокситов/В.С.Шемякин, В.В.Салтанов, Т.А.Непокрытых и др.(СССР).-№ 4230854/23-02; Заявлено 15.04.87.-БИ.-1989.-№ 12.