

Министерство образования Украины
Криворожский технический университет

На правах рукописи

УДК 553.31:549.45 (477.63)

Буанани Абделгани

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ЩЕЛОЧЕЙ
БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД
КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

Специальность 04.00.20 – минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геологических наук

Кривой Рог – 1997

548



Робота виконана на кафедрі мінералогії, кр. 00761049 (R)
рождених полевих ископаемых

Криворізького технічного університету

Научний керівник –
доктор геолого-мінералогічних наук професор В.Д.Євтехов

Офіційні опоненти:
доктор геолого-мінералогічних наук В.В.Решетняк
(Криворізька геологорозведочна експедиція),
кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент З.Д.Сапронова
(Інститут мінеральних ресурсів, г.Сімферополь)

Ведущая организация:
Львівський державний університет ім. І.Франка

Захита состоится "31" января 1997 г. в 15⁰⁰ час.
на засіданні спеціалізованого ради К.16.01.02
при Криворізькому технічному університеті

Адрес: 324027, г. Кривой Рог-27 Днепропетровской обл.,
ул. 22-го партсъезда, 11, КТУ, каф. мінералогії, ауд. 306.

С дисертацією можна ознайомитися в научній бібліотеці
Криворізького технічного університету

Автореферат розослан "27" декабря 1996 г.

Учений секретарь
спеціалізованого ради,
кандидат геолого-мінералогічних
наук доцент

И.В.Холошин

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Богатые железные руды Криворожского бассейна разрабатываются на протяжении более 100 лет. За это время в геологическом и минералогическом отношении они вошли в число наиболее глубоко и всесторонне исследованных природных объектов на Земле. Несмотря на это существует ряд недостаточно глубоко разработанных направлений теоретической и прикладной минералогии богатых руд. К таким относятся минералогия входящих в их состав щелочей. Причина состояла в сложности идентификации натрий- и калий-содержащих минералов, а также в недостаточном внимании к ним геологов-практиков в связи с отсутствием строгих нормативов на содержание щелочей в железорудном сырье.

Актуальность диссертационной работы определяется выполненным в ней исследованием недостаточно изученной группы минералов, относящихся к вредным примесям богатых железных руд, что явилось основой разработки минералогических рекомендаций к выбору технологии снижения содержания в них щелочей, а также проведенными в ходе подготовки диссертации минералого-технологическими исследованиями, подтвердившими принципиальную возможность повышения металлургической ценности руд.

Целью диссертационной работы является исследование минеральной природы щелочей в богатых железных рудах Криворожского бассейна, разработка на основе информации об их химических и физических свойствах минералогических рекомендаций к выбору технологии снижения содержания щелочей в товарных рудах, а также проверка объективности этих рекомендаций в ходе минералого-технологических экспериментов.

Достижению поставленной цели способствовало решение следующих частных задач. 1. Изучение особенностей распределения натрия и калия в рудах Криворожского бассейна по его простиранию и в разрезе железисто-кремнистой формации. 2. Поиск корреляционных связей между значениями содержания щелочей и других рудогенных и второстепенных химических компонентов в рудах различных минеральных разновидностей. 3. Выяснение минеральной природы натрия и калия в богатых железных рудах. 4. Топоминералогические исследования с целью выяснения особенностей пространственных вариаций количества щелочь-содержащих минералов в рудных залежах Криворожского бассейна. 5. Изучение морфологии, некоторых химических и физических свойств минералов натрия и калия. 6. Минералогическое обоснование выбора технологии снижения содержания щелочей в богатых железных рудах. 7. Выбор на основе минералого-технологических испытаний рациональной технологической схемы уменьшения количества натрия и калия в рудах.

Фактической основой диссертационной работы является исходный материал, собранный автором за период с 1991 по 1996 гг. Он включает результаты анализа данных из более чем 500 опубликованных работ и около 60 фондовых источников. Были отобраны более 200 минералогических и минералого-технологических проб, материал которых был исследован с использованием как традиционных (микроскопический, химический, микрофотографический, кристалломорфологический) так и современных физических методов с использованием новейшей аппаратуры и методик (фазовый рентгеноструктурный, электронномикроскопический, термографический, инфракрасноспектроскопический). Минералого-технологические исследования были выполнены с применением современных лабораторных технологических установок по методикам, адаптированным автором диссертации применительно к поставленным задачам. Полученные минералогические, химические и технологические данные были обработаны с помощью персональной ЭВМ, при этом использовались апробированные текстовые и статистические программы.

Диссертационная работа выполнялась на кафедре минералогии, кристаллографии и месторождений полезных ископаемых Криворожского технического университета. Некоторые исследования проводились в Институте геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины (г. Киев), Научно-исследовательском и проектном институте "Механобрчермет" (г. Кривой Рог), Криворожской геологоразведочной экспедиции, Научно-исследовательском горнорудном институте (г. Кривой Рог), Институте экспериментальной минералогии Российской АН (Черноголовка Московской области), Центральной лаборатории Криворожского металлургического комбината, а также на кафедре обогащения полезных ископаемых Криворожского технического университета.

Научная значимость и новизна диссертационной работы определяются решением впервые за весь период исследований богатых железных руд Кривбасса следующих проблем. 1. Впервые с использованием конкретного материала изучены особенности изменчивости по простиранию Криворожского бассейна и с глубиной значений содержания щелочей в богатых железных рудах. 2. Выявлены основные закономерности взаимосвязи количеств щелочей и других рудогенных и второстепенных компонентов в рудах различных минеральных разновидностей. 3. Определены главные и второстепенные минералы-концентраторы натрия и калия в богатых железных рудах. 4. Изучены особенности морфологии, некоторых химических и физических свойств галита, сильвина, гидрослюд, вермикулита, бейделлита и других щелочь-содержащих минералов богатых железных руд Кривбасса. 5. Выполнено минералогическое обоснование поиска технологии снижения содержания в рудах щелочей. 6. Впервые на основе глубоких всесторонних минералогических исследований проведе-

ны минералого-технологические испытания с использованием различных методов обогащения руд; показано, что доведение качества руд до необходимых кондиций возможно только путем применения комбинированных методов обогащения.

Практическое значение диссертационной работы обусловлено проведением впервые для Кривбасса и других железорудных районов Украинского щита всестороннего исследования минеральной природы щелочей, разработки минералогических рекомендаций и выполнения минералого-технологических испытаний, направленных на снижение содержания натрия и калия в товарных рудах шахт Криворожского бассейна. Использование прикладных рекомендаций диссертационной работы будет способствовать значительному повышению металлургической ценности богатых железных руд, росту их конкурентоспособности и стоимости на внешнем рынке.

В диссертационной работе защищаются следующие основные положения.

1. Щелочи в богатых железных рудах Криворожского бассейна представлены несколькими минеральными видами. Натрий присутствует, преимущественно, в виде галита, значительно более редкими являются сода, термонарит, натриевая селитра, в незначительном количестве натрий входит в состав реликтовых силикатов (рибекит, родусит, гидрослюда, бейделлит, хлорит). Основными концентраторами калия являются гидрослюда, вермикулит, бейделлит, а также сильвин. Кроме того калий входит в состав редко встречающихся алунита, ярозита, квасцов.

2. Процессы формирования современного минерального состава руд обусловили наиболее высокие концентрации калия в мартит-каолинит-дисперсногематитовых ("красковых") рудах, более низкие его содержания в дисперсногематит-мартитовых ("краско-синьковых") рудах и минимальные – в железнослудко-мартитовых, мартитовых ("синьковых") рудах. Натрий более равномерно распределен по этим основным минеральным разновидностям руд и тяготеет к наиболее пористым из них, в которых галит выполняет пустоты. Содержание щелочей в извлеченных из недр товарных рудах шахт определяется соотношением в пределах обрабатываемых залежей указанных трех минеральных разновидностей руд и степени их разубоживания в ходе добычи вмещающими породами.

3. На основании различий химических и физических свойств щелочь-содержащих и других минералов руд, а также с учетом имеющегося на шахтах Кривбасса оборудования рекомендуется для разработки наиболее простой и эффективной технологии снижения щелочей в рудах использовать их дробление, разделение по гранулометрическим классам и в воздушном потоке, магнитную сепарацию, а также обработку руд водой. Ни один из "безводных" методов не позволяет снизить содержание

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ до принятых на мировом рынке железорудного сырья нормативов – 0,10-0,15 мас. %. Это возможно только благодаря применению "водных" или комбинированных методов обогащения с использованием одной или нескольких из указанных технологических операций.

Внедрение результатов работы. Результаты исследований автора диссертации используются при ведущейся в настоящее время разработке технологии повышения качества железных руд рудника им. С.М.Кирова.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 127 страниц текста, 34 таблицы (2 в тексте и 32 в приложениях) и 65 рисунков; список литературы включает 427 наименований.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликованы 6 печатных работ, 1 работа принята к печати. Основные положения диссертационной работы были доложены автором на конференции "Проблемы геологической науки и образования в Украине" (г. Львов, 1995 г.), Региональной научной конференции "Современные проблемы геологии и минералогии железисто-кремнистых формаций и их обрамления" (г. Кривой Рог, 1996 г.), ежегодных научных конференциях Криворожского технического университета (г. Кривой Рог, 1993-1996 гг.), научно-технических советах Научно-исследовательского горнорудного института (г. Кривой Рог, 1995 г.), рудника им. С.М.Кирова (г. Кривой Рог, 1996 г.), шахты "Родина" производственного объединения "Кривбассруда" (г. Кривой Рог, 1996 г.).

Благодарности. В ходе подготовки и написания диссертационной работы автор пользовался консультациями докторов геолого-минералогических наук, профессоров Л.С.Белокрыса, В.Я.Легедзы, Б.И.Пирогова, В.Н.Тарасенко, В.Н.Трощенко, В.С.Харламова, М.И.Черновского (Криворожский технический университет), кандидатов геолого-минералогических наук, доцентов Ю.Л.Ахкозова, А.В.Плотникова (Научно-исследовательский горнорудный институт, г. Кривой Рог), А.Н.Каталенца, И.С.Паранько, А.Н.Трунина, И.В.Холошина (Криворожский технический университет), Ю.Л.Грица, М.В.Педана (институт "Механобрчермет", г. Кривой Рог), научных сотрудников, аспирантов, инженеров Л.Н.Ковальчук, Д.Н.Кондратьевой, В.В.Стеценко, В.Н.Харитоновой, А.Д.Чумака (Криворожский технический университет), Е.М.Шиловой (Центральная лаборатория Криворожского металлургического комбината). В сборе исходного материала помощь автору оказали сотрудники геологических служб производственных организаций Кривбасса А.Д.Агафуров, С.А.Агеев, В.К.Бутырин, А.Г.Задорожный, А.И.Пинская, И.А.Смянова, М.Д.Удовенко, И.Ф.Шрубович, Л.Ф.Яковенко. В ходе выполнения исследований автору оказывали содействие сотрудники кафедры минералогии Криворожского технического университета

Л.А.Выговская, Л.А.Католикова, Л.П.Мосинцова, А.П.Шмагайлова. Всем им автор выражает свою благодарность.

Самую глубокую признательность автор диссертации хотел бы высказать своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук профессору В.Д.Евтехову.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУДАХ КРИВБАССА

Руды Криворожского бассейна отличаются разнообразием минерального состава, структурно-текстурных характеристик, морфологии рудных залежей, условий образования руд и других особенностей (П.П.Пятницкий, 1924; Н.И.Свительский и др., 1932; П.М.Каниболоцкий, 1946; Я.Н.Белевцев, 1952, 1955; Г.В.Тохтуев, 1955; Н.М.Акименко и др., 1957; Я.Н.Белевцев и др., 1959, 1962, 1991; Ю.Г.Гершойг, 1959; В.А.Кожара, В.М.Кравченко, 1960; Л.Ф.Залата, 1963; В.М.Кравченко, 1964; С.Н.Зима, 1972).

В наиболее полно разработанной генетической классификации богатых и бедных железных руд месторождений Криворожского бассейна и аналогичных месторождений других регионов Восточно-Европейской платформы (Я.Н.Белевцев и др., 1991) выделены 13 генетических типов руд, объединяемых в 5 генетических групп.

Традиционно в составе продуктивных толщ месторождений Кривбасса выделяются четыре типа богатых железных руд на основе данных об их минеральном и химическом составе, геологической позиции, морфологии рудных тел и условиях их образования: 1) руды саксаганского типа; 2) руды ингулецкого типа; 3) руды валявкинского типа; 4) руды первомайского типа. К ним могут быть добавлены еще два типа руд, не имеющие практического значения: 1) сингенетические руды, залежи которых располагаются среди аналогичных по составу, строению и происхождению железистых кварцитов, а также 2) бурожелезняковые руды коры выветривания пород железисто-кремнистой формации, которые практически полностью были извлечены в ходе первых горнодобычных работ (конец XIX - начало XX века).

В настоящее время шахтами Кривбасса разрабатываются только руды саксаганского типа. Они являются наиболее распространенными в бассейне: их залежи содержат более 90 % общих запасов руд. Тела руд этого типа локализируются в пределах толщ четвертого, пятого, шестого железистых и перемежающихся, прилегающих к ним четвертого, пятого и шестого сланцевых горизонтов саксаганской свиты криворожской серий (Я.Н.Белевцев, 1955; Н.М.Акименко и др., 1957; Я.Н.Белевцев и др., 1959, 1962, 1991; А.П.Каршенбаум, 1973; Н.А.Корнилов, 1977; М.А.Ярошук,

1977; Н.П.Семенов и др., 1981; В.И.Шелегеда, 1983). Форма рудных залежей определялась метрическими характеристиками железистых горизонтов, морфологией зон повышенной проницаемости растворов и активностью процессов рудообразования: преобладают пластообразные, складчато-пластообразные, столбообразные, трубообразные, линзообразные, штокообразные и гнездообразные рудные тела (Г.В.Тохтуев, 1955; В.И.Шелегеда, 1973; Н.П.Семенов и др., 1981).

Выделяются три основные минеральные разновидности руд саксаганского типа (П.М.Каниболоцкий, 1946; Л.И.Мартыненко, 1950, 1957; Я.Н.Белевцев, 1955; Ю.Г.Гершойг, 1955; Д.С.Коржинский, 1955; Ю.Ир.Половинкина, 1955; Ю.Г.Старицкий, 1955; В.С.Федорченко, 1955; Я.Н.Белевцев и др., 1959, 1962, 1991; Г.Т.Татунь, 1972, 1979; М.А.Ярошук, 1978; Ю.М.Епатко, 1982): 1) железнослюдко-мартитовые, мартитовые ("синьки"), сформировавшиеся по исходным железнослюдко-магнетитовым, магнетитовым кварцитам центральных частей железистых горизонтов; 2) дисперсногематит-мартитовые ("краско-синьки") – продукт переработки в ходе рудогенеза исходных силикат-карбонат-магнетитовых кварцитов периферийных частей железистых горизонтов; 3) каолинит-мартит-дисперсногематитовые, каолинит-дисперсногематитовые ("краски"), образовавшиеся по магнетит-карбонат-силикатным кварцитам периферийных частей железистых горизонтов и прилегающих к ним сланцам различного состава.

3. МИНЕРАЛЬНАЯ ПРИРОДА ЩЕЛОЧЕЙ

3.1. Натрий-содержащие минералы

Натрий в рудах представлен растворимыми и нерастворимыми в воде минеральными формами. Наиболее распространенной из них является галит NaCl , впервые детально описанный в диссертационной работе.

Для изучения галита и других растворимых в воде минеральных фаз автор диссертации использовал два вида исходного материала: "выцветы" солей на поверхности обломков руды и продукты выпаривания растворов солей, полученных после выдерживания руд в дистиллированной воде. Присутствие галита в солях было подтверждено фазовым рентгеноструктурным, термографическим, ИК-спектроскопическим методами. Все они, а также химические анализы солей показали, что галит в солях пользуется подавляющим распространением (80-90 мас. %), другие минералы присутствуют в виде примесей.

По данным электронномикроскопических исследований, в солевых налетах на поверхности рудных частиц галит образует различной степени совершенности кубические кристаллы размером от сотых долей до 2-3 и

более мм. Эта же габутусная форма характерна для галита в продуктах выпаривания солевых растворов, кроме того здесь часто встречаются также разнообразны проявления расщепленных и скелетных кристаллов галита.

Характерной анатомической особенностью кристаллов галита является обилие жидких (солевые растворы) включений, имеющих веретенообразную или цилиндрическую форму и закономерно ориентированных, преимущественно, параллельно ребрам куба.

В незначительном количестве натрия содержится во впервые обнаруженных в рудах Кривбасса натриевой селитре $\text{Na}[\text{NO}_3]$, соде $\text{Na}_2[\text{CO}_3] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и термонатрите $\text{Na}_2[\text{CO}_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$. Кроме того в рудах северной группы шахт бассейна (от шахты им. М.В.Фрунзе до шахты им. В.И.Ленина) встречаются полуразложившиеся в ходе рудогенеза и эпигенетических процессов натрий-содержащие силикаты, входившие в состав исходных железистых кварцитов: рибекит, родусит, иногда эгирин, альбит. Некоторое количество натрия в виде изоморфной примеси или в форме адсорбированных молекул, катиона Na^+ присутствует в гидрослюдах, вермикулите, глинистых минералах.

3.2. Калий-содержащие минералы

Преобладающими минеральными формами калия в рудах являются промежуточные и конечные члены непрерывных рядов вторичных изменений исходных слоистых силикатов: 1) биотит \rightarrow гидробиотит \rightarrow вермикулит \rightarrow бейделлит \rightarrow каолинит и 2) мусковит \rightarrow гидромусковит \rightarrow каолинит, значительно уступающего ему по значению.

Присутствие гидрослюд в силикатных фракциях руд, ранее отмечавшееся Я.Н.Белевцевым и др. (1962), Е.К.Лазаренко и др. (1977), было подтверждено полученными автором диссертации данными электронно-микроскопических, рентгеноструктурных, ИК-спектроскопических, термографических исследований. Гидрослюды представлены пластинчатыми псевдогексагональными кристаллами, размер которых изменяется от тысячных долей до 0,1-0,2 мм.

Второстепенное значение играет сильвин KCl , впервые обнаруженный в солевых смесях руд в ассоциации с галитом и образующий октаэдрические, кубооктаэдрические кристаллы размером до 0,3-0,5 мм, а также их скелетные формы. К редко встречающимся калий-содержащим минералам руд относятся алуниит $\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_3 \cdot (\text{OH})_6$, ярозит $\text{KFe}_3[\text{SO}_4]_3 \cdot (\text{OH})_6$, квасцы $\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, калиевая селитра $\text{K}[\text{NO}_3]$.

Постоянными спутниками щелочь-содержащих минералов, присутствующими в солях в количестве до 5-7 объемн. %, являются гипс $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, фельшбаниит $\text{Al}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, каль-

цит $\text{Ca}[\text{CO}_3]$, арагонит $\text{Ca}[\text{CO}_3]$.

3.3. Условия образования щелочь-содержащих минералов

Ведущую роль в миграции, концентрации и выносе натрия и калия в рудах играли процессы седиментации, диагенеза, динамотермального метаморфизма, натриевого метасоматоза, рудогенеза, а также эпигенетические гидротермальные и гипергенные явления.

В ходе седиментации и последующего диагенеза сформировалась аутигенная минералогическая зональность железорудных толщ (Н.М.Страхов, 1962; Я.Н.Белевцев и др., 1962; Л.Я.Ходюш, 1967), одной из характерных черт которой являлось закономерное увеличение содержания калия в направлении от центральных зон железистых ($n \cdot 0,01$ мас. % K_2O) к центральным зонам сланцевых горизонтов (3-5 мас. % K_2O). Существенные концентрации натрия в ходе седиментации и диагенеза железистых осадков не возникали.

Динамотермальный метаморфизм, протекавший в пределах Саксаганского района Кривбасса в условиях, отвечавших зеленосланцевой фации (Р.Я.Белевцев, 1970, 1975; Р.Я.Белевцев и др., 1989), способствовал образованию калий-содержащих слоистых силикатов (биотита, мусковита, серицита) в железистых кварцитах и сланцах, служивших впоследствии исходными породами для образования руд. Существенного перераспределения щелочей в границах железорудной толщи в ходе метаморфизма не происходило.

Натриевый метасоматоз протекал в породах железистых и в меньшей мере – сланцевых горизонтов в результате проникновения в толщу железисто-кремнистой формации углекисло-натриевых растворов (Ю.Ир.Половинкина, 1949; А.И.Стрыгин, 1959; Н.А.Елисеев и др., 1961; И.В.Александров, 1963; В.Г.Кушев, 1972; А.П.Никольский, 1973; В.Д.Евтехов и др., 1988). В результате формировались эгирин-, рибекит-, реже – альбит-содержащие руды и железистые породы, в которых содержание Na_2O достигало 5-7 и более мас. %. Локализовались натриевые метасоматиты в северной части Саксаганского района Кривбасса.

Рудогенез сопровождался выносом из исходных железистых кварцитов и прилегавших к ним сланцев большинства химических компонентов, в том числе калия и натрия и накоплением железа. В участках, где рудогенный процесс протекал недостаточно активно, сохранялись реликты метаморфогенных калий-содержащих слоистых силикатов и натрий-содержащих амфиболов, пироксенов.

Эпигенетические процессы, проходившие в рудах от времени их образования до настоящих дней, способствовали образованию в пористых богатых рудах галита, сильвина и некоторых других щелочь-содержащих

минералов. Основные источники щелочей – доломитовые мраморы гданцевской свиты и осадочные породы кайнозойского чехла.

4. ТОПОМИНЕРАЛОГИЯ ЩЕЛОЧЬ-СОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ

Различная степень проявленности описанных выше процессов обусловила особенности топоминералогии щелочь-содержащих минералов. В региональном отношении в направлении с севера (шахта им. В.И.Ленина) на юг (шахта "Гигант-Глубокая") среднее содержание в рудах K_2O возрастает с 0,10-0,15 до 0,45-0,50 мас. %. Связано это с увеличением в составе рудных тел доли апосланцевых мартит-каолинит-дисперсногематитовых ("красковых") руд, содержащих гидрослюда. В этом направлении растет также, хотя и менее значительно (с 0,15-0,20 до 0,25-0,30 мас. %), содержание в рудах Na_2O .

В пределах отдельных рудных залежей соотношение щелочей определяется, главным образом, наследованием рудами аутигенной минералогической зональности железистых и сланцевых горизонтов (В.М.Кравченко, 1964, 1969; В.М.Кравченко и др., 1965). В зональных рудных телах содержание калия заметно растет в ряду железнослюдко-мартитовые, мартитовые ("синьковые") руды (0,00-0,05 мас. % K_2O) → дисперсногематит-мартитовые ("краско-синьковые") руды (0,05-0,25) → мартит-каолинит-дисперсногематитовые ("красковые") руды (0,20-0,70). Галит и другие минералы натрия тяготеют к высокопористым "синьковым" и "краско-синьковым" рудам.

Вариации количества щелочь-содержащих минералов в товарных рудах шахт Кривбасса определялись также техногенными факторами, ведущими из которых являются: смешивание в ходе добычи различных минеральных разновидностей руд; попадание в рудную массу обломков вмещающих пород; создание горными выработками искусственных дренажных систем, что способствует повышенным притокам к рудным залежам высокоминерализованных подземных вод.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ЩЕЛОЧЕЙ

Минералого-технологические исследования богатых железных руд Кривбасса активно проводились с конца 60-х до начала 80-х годов текущего столетия в связи с решением проблем повышения качества железорудного сырья, возможности получения суперконцентратов и др. (С.Н.Зима, 1972; Е.Ф.Богун и др., 1981; Л.Ф.Суббота и др., 1981, 1984). Основное внимание авторы уделяли железу, данные о щелочах, их содержании в исходном сырье, перераспределении их в концентрат и отходы

обогащения в этих работах не рассматривались. Специальное изучение возможностей снижения содержания щелочей в добываемых шахтами Кривбасса агломерационных рудах проводилось В.С.Харламовым и др. (1993).

Своей задачей автор диссертации определил изучение на примере шахты "Родина" возможностей снижения содержания щелочей как в богатых железных рудах выделяемых на месторождении природных минеральных разновидностей так и в товарных рудах различных сортов. Основой минералого-технических исследований автора явились результаты изучения минеральной природы щелочей. Анализ этих данных свидетельствует о том, что для снижения содержания щелочей в рудах необходимо, во первых, удаление из последних растворимых щелочь-содержащих минералов, а во-вторых, - снижение в рудах количества "краскового" компонента, в состав которого входят калий-содержащие силикаты.

Первое возможно с использованием "водных" технологий, основанных на растворении содержащихся в рудах солей водой и удалении из руды образующихся солевых растворов. Снижение содержания в рудах "краскового" компонента возможно несколькими путями с использованием а) значительно меньшего размера силикатных частиц (индивидов и агрегатов минералов) по сравнению с размером частиц мартита и железной слюдки; б) в 2-2,5 раза более низкой плотности калий- и натрий-содержащих минералов по отношению к плотности гематита; в) более низкой удельной магнитной восприимчивости силикатов в сравнении с гематитом.

При выборе методов технологических испытаний автор остановился на несложных, легко реализуемых в производственных условиях технологиях: разделении руд по гранулометрическим классам, в воздушном потоке, в магнитном поле, а также удалении щелочей из руд путем их растворения в воде. Часть из этих технологий была рекомендована В.С.Харламовым и др. (1993). Минералого-технологическим испытаниям подвергались 26 проб природных минеральных разновидностей руд ("синек", "краско-синек" и "красок"), 26 проб товарных агломерационных и 25 проб товарных кусковых руд шахты "Родина". Масса проб составляла 10-15 кг. Предварительно материал проб был издроблен в крупности 10 мм.

5.1. Разделение проб по гранулометрическим классам

Рассев руд проводился с получением фракций +10,0 мм; -10,0+5,0 мм; -5,0+3,0 мм; -3,0+1,0 мм; -1,0+0,1 мм и -0,1 мм. Результаты исследований подтвердили ранее полученные данные других авторов об увеличении

в общем случае содержания железа от крупно- к мелкозернистым продуктам дробления в связи с накоплением в первых обломков реликтовых кварцевых прослоев руд, а во вторых – фрагментов более легко измельчаемых рудных прослоев. Исключением является наиболее тонкозернистый материал (фракция $-0,1$ мм), в котором вследствие повышенного количества каолинита и гидрослюд содержание железа было значительно ниже по сравнению с фракциями $-1,0+0,1$ мм и $-3,0+1,0$ мм.

Что касается щелочей, то от крупнозернистых к мелкозернистым продуктам дробления руд их количество закономерно повышалось. Для калия это объясняется исходным присутствием гидрослюд, вермикулита, бейделлита в мелкозернистых фракциях рудного материала. Для натрия – концентрацией в этих же гранулометрических классах руд легко измельчавшихся индивидов и агрегатов галита.

Результаты гранулометрического разделения рудного материала показали также, что только с его помощью не удастся существенно понизить в продуктах дробления руд содержание оксидов щелочей при сохранении достаточно высокого содержания железа. Суммарные количества Na_2O и K_2O , составляющие менее 0,15 мас. %, характерны только для наиболее крупнозернистых классов товарных руд ($+10,0$ мм и $-10,0+5,0$ мм). Однако для этих же классов отмечены и наиболее низкие содержания железа – от 34,72 до 55,01 мас. %. В более мелкозернистых фракциях руд, характеризующихся содержаниями железа, близкими к оптимальным, количество $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ значительно превышает допустимые значения, достигающие для фракций $-1,0+0,1$ мм и $-0,1$ мм 0,60-0,70 мас. %.

5.2. Разделение руд в воздушном потоке

Испытания проводились с помощью установки, состоявшей из короба, питающей воронки, двух приемных воронок для крупно-среднезернистого и мелкозернистого материала и матерчатой емкости для пелитоморфного и тонкозернистого материала. Скорость воздушного потока была регулируемой.

В ходе экспериментов подаваемый рудный материал разделялся в воздушном потоке на три фракции. Фракция I представляла собой наиболее крупнозернистую (от 2,0 до 10,0 мм) часть товарной руды, состоящую из обломков кварцевых прослоев, жильного кварца, частиц, сложенных переслаивающимися кварцевыми и мармитовыми прослоями, а также относительно мелких (2,0-5,0 мм) частиц существенно мармитового состава. В подчиненном количестве в этой фракции присутствовали обломки мартит-дисперсногематитового, каолинит-дисперсногематитового состава. Для фракции I всех изученных проб характерны наиболее низкие содержания оксидов калия и натрия. Повышенное количество в со-

ставе этой фракции крупных обломков существенно кварцевого состава обусловило более низкое по сравнению с исходными пробами содержание в ее составе железа.

Фракция II была представлена, преимущественно, материалом крупности 0,2-3,0 мм, имеющим мартитовый или железнослюдко-мартитовый состав. В подчиненном количестве присутствовали обломки кварца, мартит-дисперсногематитовой и каолинит-дисперсногематитовой составляющих. Последние преобладали в составе этой фракций в экспериментах с "красковыми" рудами. Для фракций II характерны максимальные содержания железа и промежуточные - оксидов калия и натрия.

Фракция III представляла собой наиболее мелкозернистый (в основном, менее 0,3 мм) и пелитоморфный материал дробленых руд, накапливавшийся в матерчатом фильтре установки. Основными минеральными компонентами этой части руд были дисперсный гематит, перемельченный кварц, мартит, гидроксиды железа, глинистые минералы и гидрослюды. Здесь же накапливалась основная часть легко измельчавшегося в ходе дробления галита. Минеральный состав фракции III определял минимальное содержание в ней железа и максимальное количество щелочей.

Таким образом, для всех изученных природных разновидностей и товарных сортов руд в ходе разделения их дробленого материала в воздушном потоке отмечалось значительное перераспределение щелочей по выделяемым трем фракциям. Калий- и натрий-содержащие минералы накапливались в наиболее мелкозернистой фракции. Суммарное их количество превышало содержание $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в исходных пробах руд в 1,5-2,5 раза. Однако ни в одном эксперименте и ни в одной из полученных фракций руд суммарное содержание оксидов щелочей не удалось понизить до значений, соответствующих признанным на мировом рынке кондициям.

5.3. Разделение руд методом сухой магнитной сепарации

Исследования выполнялись с использованием валкового сепаратора ЭВС 28/9. Интенсивность магнитного поля была постоянной и составляла 0,4 Тл. Состав руд заметно влиял на количественные соотношения магнитной и немагнитной фракций. Максимальный выход первой отмечен для железнослюдко-мартитовых, мартитовых ("синьковых") руд - 85-92 мас. %, минимальный - для мартит-каолинит-дисперсногематитовых ("красковых") руд - 39-48 мас. %. Для имеющих промежуточный состав "краско-синьковых" и товарных руд этот показатель имел промежуточные значения.

В состав магнитной фракции входил мартит, железная слюдка, а также магнетит в сростаниях с другими минералами. Кроме того присут-

существовали агрегаты смешанного (мартит + кварц, мартит + дисперсный гематит, железная слюдка + кварц и др.) состава. Дисперсный гематит содержался в подчиненном количестве. В составе немагнитной фракции содержание мартита и железной слюдки было пониженным по сравнению с магнитной фракцией, магнетит здесь практически отсутствовал. Повышенным было количество дисперсного гематита, кварца, силикатов.

Особенности перераспределения минералов между магнитной и немагнитной фракциями обуславливали разделение между ними щелочей. Повышенное содержание силикатов в немагнитной фракции явилось причиной накопления здесь калия. Тонкоизмельченный в ходе дробления, а также адсорбированный в каолинит-дисперсногематитовом материале галит также концентрировался в немагнитной фракции. В ряду "синьковые" → "краско-синьковые" → "красковые" руды коэффициент перераспределения щелочей между магнитной и немагнитной фракциями снижался от 2-3 до 1,5-2. Однако ни в той, ни в другой фракциях методом сухой магнитной сепарации не удалось понизить суммарное содержание оксидов щелочей до 0,10-0,15 мас. %.

5.4. Удаление щелочей из руд путем их растворения в воде

В ходе опытов фракции руд всех гранулометрических классов выдерживались в воде в течение 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 и 5,0 часов. Через каждые 0,5 часа производилось перемешивание рудного материала в воде.

Вследствие преимущественного вхождения в состав растворимых минеральных форм натрия значительно активнее переходил в раствор по сравнению с калием, концентрирующимся, главным образом, в силикатах. При воздействии водой в течение 5 часов содержание Na_2O в рудах снижалось в 2,57-9,00 раз, для K_2O этот показатель изменялся от 1,00 до 5,00. Наиболее интенсивно щелочи выносились водой из железнослюдко-мартитовых, мартитовых ("синьковых") руд, слабее всего – из мартит-каолинит-дисперсногематитовых ("красковых").

От крупнозернистых (+10,0 мм) к мелкозернистым (-1,0+0,1 мм) фракциям извлечение как натрия так и калия из руд водой заметно возрастало. В экспериментах же с наиболее мелкозернистыми фракциями руд (-0,1 мм) отмечалось снижение активности этого процесса, что автор объяснил повышенной адсорбируемостью щелочей тонкодисперсными фракциями руд.

На протяжении первых двух часов обработки водой содержание $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в товарных рудах шахты "Родина" уменьшалось в 3-3,5 раза. В дальнейшем активность растворения щелочей снижалась в связи с присутствием их остаточных количеств в составе силикатов. Это справедливо и для природных минеральных разновидностей руд: значения этого пока-

зателя для них изменяется от 3,57 ("синьки") до 1,86 ("краски"). На протяжении двух часов обработки товарных руд водой суммарное содержание щелочей в них снижалось до 0,10-0,12 мас. %.

Минералого-технологические исследования богатых железных руд показали, что снижение в них содержания щелочей до значений, соответствующих требованиям мирового рынка, с использованием "сухих" технологий, по-видимому, невозможно. Необходимый эффект достигается только применением обработки дробленого материала руд водой на протяжении не менее 2 часов. Возможно также использование комбинированных технологий, например, "мокрого" россева руд, результатом которого может быть не только снижение щелочей в рудах, но и повышение в них количества железа в связи с отделением наиболее крупнозернистых (+5,0 мм) фракций.

Использование "водных" технологий делает необходимым поиск экономически целесообразных методов утилизации или удаления высокощелочных водных растворов для недопущения чрезмерного щелочного давления на гидросферу Криворожского бассейна.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Буанани А. Щодо мінералогії лугів у багатих залізних рудах Криворізького басейну / Проблеми геологічної науки та освіти в Україні. Матеріали наукової конференції // Львів: ЛДУ, 1995.– С. 183-184.

2. Буанани А. Минералогическое обоснование технологии снижения содержания щелочей в богатых железных рудах Кривбасса / Современные проблемы геологии и минералогии железисто-кремнистых формаций и их обрамления. Материалы Региональной научной конференции // Кривой Рог: Контакт, 1996.– С. 72-73.

3. Буанани А. Распределение щелочей в богатых железных рудах Криворожского бассейна // Там же.– С. 73-74.

4. Евтехов В.Д., Буанани А. К решению проблемы снижения содержания щелочей в богатых железных рудах Криворожского бассейна / Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке. Материалы научной конференции // Кривой Рог: Минерал, 1996.– С. 80.

5. Евтехов В.Д., Буанани А. Пространственно-генетическая модель вариаций содержания щелочей в богатых железных рудах Криворожского бассейна / Рукопись, депонированная в ГНТБ Украины 05.09.1996 г., № 1770 Ук 96 // Кривой Рог: Криворожский технический университет, 1996.–

23 с.

6. Євтехов В.Д., Буанані А. Мінералогічне обґрунтування екологічно прийнятної технології зменшення вмісту лугів у багатих залізних рудах Кривбасу / Техногенні ландшафти: структура, функціонування, оптимізація. Матеріали Всеукраїнської конференції // Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний інститут, 1996.- III частина.- С. 8.

7. Евтехов В.Д., Буанани А. Природные и техногенные факторы распределения щелочей в богатых железных рудах Кривбасса / Разработка рудных месторождений // Кривой Рог: Криворожский технический университет, 1997.- № 58 (принята к печати).

АНОТАЦІЯ

Буанані А. Технологічна мінералогія лугів багатих залізних руд Криворізького басейну.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук з спеціальності 04.00.20 – мінералогія, кристалографія.

Кривий Ріг: Криворізький технічний університет, 1997.- 15 с.

Вивчені головні мінерали-концентратори натрію і калію в багатих залізних рудах родовищ Криворізького басейну. Визначені фактори варіацій їх вмісту в рудах Кривбасу і окремих рудних тіл. Розроблено мінералогічне обґрунтування технології зменшення вмісту лугів в рудах. Проаналізовані результати “сухих” і “водних” збагачувальних технологічних експериментів і зроблено висновок про раціональність комбінованих технологій.

Ключові слова: залізисто-кремениста формація, багаті залізні руди, луги, морфологія мінералів, фізичні властивості мінералів, топомінералогія, технологічна мінералогія.

ABSTRACT

Bouanani A. Technological mineralogy of alkalies of Krivoy Rog basin rich iron ores.

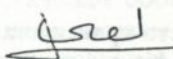
Dissertation for candidate's degree of science in geology, the speciality 04.00.20 – mineralogy, crystallography.

Krivoy Rog: Krivoy Rog technical university, 1997.- 15 p.

The main minerals-concentrators of sodium and potassium in rich iron ores of Krivoy Rog basin deposits have been studied. The factors of variations of their content in ores of Krivbass and of individual ore bodies have been

determined. The mineralogical basing of alkali content of ores decreasing technology has been made. The results of "dry" and "water" ore-dressing technological experiments have been analysed and the inference of combine technology rationality has been made.

Соискатель



Буанани А.

РТП КГУ. Зак. № 483, тир. 100 экз.
324027, Кривой Рог, ул. 22-го партсъезда, 11.
Подписано к печати 19.12.1996 г.

442426

AB 36.840

AB 36.840