

А.А. Абрамов

ВЫСШЕЕ
ГОРНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Книга 2

Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn,
Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-,
Sb-, Hg-содержащие руды

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело»



Москва
Издательство Московского
государственного горного университета
2005

ТОМ III

УДК 622.132.345:625
ББК 33.4
А 16

Федеральная целевая программа «Культура России (2001—2005 годы)»
подпрограмма «Поддержка полиграфии
и книгоиздания России (2002—2005 годы)»

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области горного дела
(письмо № 51-78/6 от 17.04.03)

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным
для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным
Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г.

Рецензенты:

- проф., д-р техн. наук *В.А. Бочаров* (Московский государственный институт стали и сплавов (Технический университет));
- проф., д-р техн. наук *И.И. Максимов* (Институт «Механобр»)

Абрамов А.А.

- А 16 Технология переработки и обогащения руд цветных металлов: Учебное пособие для вузов. В 2 кн. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. — Кн. 2. Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg-содержащие руды. — 470 с.: ил. ISBN 5-7418-0347-4 (в пер.)

Рассмотрены технологические свойства руд цветных металлов, современные методы совершенствования технологии, требования к их переработке и комплексности использования. Приведены результаты исследований технологии обогащения руд, даны анализ и теоретическое обоснование наиболее эффективных технологических режимов и схем обогащения, рассмотрены пути дальнейшего совершенствования и оптимизации технологических процессов средствами автоматизации, а также условия повышения комплексности использования труднообогатимых руд. Описаны новые режимы флотации окисленных свинцовых минералов с сульфгидрильными и оксигидрильными собирателями, прямой и обратной катионной флотации окисленных цинковых минералов и методы повышения качества коллективных и селективных концентратов. Отмечены современные тенденции в построении технологических схем с учетом особенностей вещественного состава руд, достижений в области обогатительного машиностроения, влияния крупности измельченного материала на эффективность его обогащения.

А.А. Абрамов — д-р техн. наук, профессор кафедры «Обогащение полезных ископаемых» Московского государственного горного университета.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело». Может быть полезно инженерно-техническим работникам горно-обогатительных комбинатов, проектных и научно-исследовательских институтов.

УДК 622.132.345:625
ББК 33.4

ISBN 5-7418-0346-8
ISBN 5-7418-0347-4

© А.А. Абрамов, 2005
© Издательство МГГУ, 2005
© Издательство «Горная книга», 2005
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2005

7.1. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Монометаллических сульфидных свинцовых руд в природе практически нет. В силу условий образования свинцовые руды всегда содержат не только сульфидные, но и окисленные минералы. Медно-свинцовые руды могут быть сульфидными, окисленными и сульфидно-окисленными (Смирнов, 1951).

В сульфидных рудах свинец представлен главным образом галенитом (PbS). Буланжерит ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$), бурнонит (CuPbSbS_3), айкинит (CuPbBiS_3) и другие свинецсодержащие сульфидные минералы в значительных количествах встречаются редко. Сульфиды железа представлены обычно пиритом и марказитом, сульфиды меди — в основном халькопиритом, халькозинном, ковеллином и борнитом. Благородные металлы находятся в различных ассоциациях с сульфидными минералами и лишь иногда — в самородном состоянии.

Окисленные и смешанные свинцовые и свинцово-медные руды имеют по сравнению с сульфидными гораздо более сложный минеральный состав.

Из неокисленных сульфидных минералов свинца главным является галенит PbS . Сульфоантимониты (буланжерит $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$, джемсонит $\text{Pb}_4\text{FeS}_5 \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3$, бурнонит PbCuSbS_3) и отдельные сульфоарсениты (иорданит, гуитерманит) обычно являются примесями (Смирнов, 1951).

В свинцовых рудах церуссит оказывается обычно главным окисленным свинцовым минералом. В то же время в результате действия соответствующих растворов в зоне окисления месторождения он может частично замещаться лимонитом, разнообразными фосфатами, арсенатами, ванадатами, молибдатами, хроматами, оксихлоридами и другими, более редкими минералами свинца. Из фосфатов свинца наиболее часто встречаются пироморфит $\text{Pb}_5[\text{Cl}(\text{PO}_4)_3]$ и сложные фосфаты типа коркита и гинсдалита $\text{PbAl}_3(\text{PO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$. Арсенаты свинца — миметезит $\text{Pb}_5[\text{Cl}(\text{AsO}_4)_3]$ и бедантит — являются иногда весьма важными минералами в окисленных и смешанных рудах, богатых

мышьяком. Например, в некоторых месторождениях Восточного Забайкалья России («Кличкинском», «Кадаинском»), Юго-Западной Африки («Тсумеб»), Мексики («Чихуахуа»), США («Тинтик») их содержание в зоне окисления может иметь промышленное значение. Из всех молибдатов только вольфенит $PbMoO_4$ более или менее широко распространен в зонах окисления свинцовых месторождений и иногда образует промышленные скопления. Встречаются хроматы свинца, главным образом крокоит $PbCrO_4$ (например, в Березовском месторождении в России), но редко. В щелочной среде образуются также гидроцеруссит и свинцовые охры. Главным ванадиевым минералом являются ванадинит $Pb_3[Cl(VO_4)_3]$ и реже деклуазит $Pb(Zn,Cu)[VO_4] \cdot [OH]$. Значительное содержание их отмечено, например, в месторождениях Южного Казахстана («Сулейман-Сай»), Мексики («Ламентос»).

Нерудные минералы окисленных и смешанных руд представлены в основном остаточными стойкими минералами гипогенных руд и различными новообразованиями. Наибольшей составной частью в них являются силикаты или известняк, оксиды железа или алюминия и иногда барит.

Минеральный состав *свинцово-медных* руд, по сравнению со свинцовыми, еще более осложнен одновременным присутствием в них окисленных и сульфидных минералов не только свинца, но и меди. При этом как в свинцовых, так и в свинцово-медных рудах с относительно крупной вкрапленностью окисленные свинцовые и медные минералы часто плохо раскристаллизованы и образуют в лимоните тонкие аморфные выделения, нередко переходящие в тончайшие прорастания с ним. Незначительная твердость (2—3 по шкале Мооса) и хрупкость окисленных минералов, особенно свинцовых, затрудняют эффективное раскрытие их из сростков с минералами породы без переизмельчения.

Сложность минерального и вещественного состава окисленных и смешанных свинцовых и свинцово-медных руд — основная причина низкой эффективности их обогащения. Трудности обогащения обусловлены не только непостоянством состава руд и тесной связью минералов свинца и меди с оксидами и гидроксидами железа, большим и переменным содержанием в них окристо-глинистых шламов и растворимых солей, но и разными флотационными свойствами различных минералов как меди, так и свинца.

Глава 7

СВИНЦОВЫЕ И СВИНЦОВО-МЕДНЫЕ РУДЫ	5
7.1. Минеральный состав. Технологические особенности руд	7
7.2. Действие реагентов на флотуемость минералов свинца	12
7.3. Схемы обогащения	38
7.4. Режимы флотации и разделения сульфидных минералов	49
7.5. Режимы флотации окисленных свинцовых минералов после предварительной сульфидизации	54
7.6. Режимы селективной флотации окисленных минералов свинца и меди	68
7.7. Режимы флотации окисленных минералов с оксигидрильными собирателями	71
7.8. Комбинированные схемы. Комплексность использования сырья	76

Глава 8

ЦИНКОВЫЕ И СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ РУДЫ	85
8.1. Минеральный состав. Методика оценки технологических особенностей руд.....	87
8.2. Действие реагентов на флотуемость минералов	93
8.3. Схемы обогащения	123
8.4. Режимы флотации и разделения сульфидных минералов	145
8.5. Режимы флотации окисленных свинцовых минералов	154
8.6. Режимы флотации окисленных цинковых минералов	157
8.7. Комбинированные схемы переработки. Комплексность использования сырья	169

Глава 9

ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РУДЫ	173
9.1. Минеральный состав и особенности вещественного состава руд.....	175
9.2. Действие применяемых реагентов	179

9.3. Схемы обогащения сульфидных полиметаллических руд	187
9.4. Режимы коллективной флотации сульфидных минералов.....	194
9.5. Режимы подготовки коллективных сульфидных концентратов к разделению	205
9.6. Режимы селективной флотации	209
9.7. Режимы разделения сульфидных свинцово-медных концентратов	220
9.8. Извлечение сульфидов цинка и железа.....	236
9.9. Прямая селективная флотация сульфидных руд и коллективных концентратов	239
9.10. Повышение качества сульфидных концентратов.....	242
9.11. Комплексность использования сульфидных полиметаллических и комплексных руд.....	244
9.12. Схемы и режимы обогащения окисленных и смешанных полиметаллических руд.....	253
9.13. Комбинированные схемы переработки труднообогатимых руд	260

Глава 10

МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ	271
10.1. Минеральный состав и технологические особенности руд.....	273
10.2. Действие применяемых реагентов.....	276
10.3. Схемы обогащения сульфидных руд	288
10.4. Режимы коллективной флотации сульфидных минералов и доизвлечения пирротина	301
10.5. Режимы селективной флотации сульфидных минералов.....	309
10.6. Комплексность использования сульфидных медно-никелевых руд	319
10.7. Комбинированные схемы переработки окисленных руд и труднообогатимых продуктов, включающие пирометаллургические процессы.....	321

10.8. Комбинированные схемы переработки окисленных руд и труднообогатимых продуктов, включающие гидрометаллургические процессы	329
--	-----

Глава 11

КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИЕ РУДЫ	339
11.1. Минеральный состав и типы руд	341
11.2. Флотуемость минералов кобальта	342
11.3. Арсенидные кобальтоникелевые и кобальтосеребряные руды	343
11.4. Сульфидные медно-кобальтовые и медно-кобальтово-пиритные руды	347
11.5. Сульфидные полиметаллические кобальтовые руды	354
11.6. Сульфидно-окисленные и арсенидно-арсенатные кобальтсодержащие руды	355

Глава 12

ВИСМУТСОДЕРЖАЩИЕ РУДЫ	359
12.1. Особенности вещественного состава руд	361
12.2. Флотуемость минералов	362
12.3. Схемы и режимы обогащения	370
12.4. Комбинированные схемы переработки	381

Глава 13

СУРЬМЯНЫЕ, РТУТНЫЕ И МЫШЬЯКОВЫЕ РУДЫ	383
13.1. Минеральный и вещественный состав руд	385
13.2. Флотационные свойства минералов сурьмы, ртути и мышьяка	386
13.3. Схемы и режимы обогащения	398
13.4. Флотационная переработка ступпы	416

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	419
--------------------------------	------------

ПЕРЕЧЕНЬ ФАБРИК, РУДНИКОВ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ	462
--	------------