

А.А. Абрамов

**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 ( $Pb_5Sb_4S_{11}$ ), 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  $Pb_5Sb_4S_{11}$ , джемсонит  $Pb_4FeS_5 \cdot Sb_2O_3$ , 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  $Pb_5[C1(PO_4)_3]$  и сложные фосфаты типа коркита и гинсдалита  $PbAl_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$ . Арсенаты свинца — миметезит  $Pb_5[C1(AsO_4)_3]$  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 вульфенит  $PbMoO_4$  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  $Pb_2[Cl(VO_4)_3]$  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 охристо-глинистых шламов и растворимых солей, но и разными флотационными свойствами различных минералов как меди, так и свинца.

**Глава 7**

<b>СВИНЦОВЫЕ И СВИНЦОВО-МЕДНЫЕ РУДЫ</b> .....	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**

<b>ЦИНКОВЫЕ И СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ РУДЫ</b> .....	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**

<b>ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РУДЫ</b> .....	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**

<b>МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ РУДЫ.....</b>	<b>271</b>
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**

<b>КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИЕ РУДЫ</b> .....	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**

<b>ВИСМУТСОДЕРЖАЩИЕ РУДЫ</b> .....	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**

<b>СУРЬМЯНЫЕ, РТУТНЫЕ И МЫШЬЯКОВЫЕ РУДЫ</b> .....	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

<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	419
--------------------------------	-----

<b>ПЕРЕЧЕНЬ ФАБРИК, РУДНИКОВ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b> .....	462
--------------------------------------------------------	-----