

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Составители
М. С. Клейн
Т. Е. Вахонина

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ ТВЕРДОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Методические указания к самостоятельной работе

Рекомендованы учебно-методической комиссией
специализации 06 Обогащение полезных ископаемых
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензент:

Удовицкий В. И., профессор, зав. кафедрой обогащения полезных ископаемых КузГТУ

Клейн Михаил Симхович

Вахонина Татьяна Евгеньевна

Технология обогащения твердого минерального сырья: методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс]: для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело, специализации Обогащение полезных ископаемых, всех форм обучения / сост. М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина; КузГТУ. – Электрон. издан. – Кемерово, 2019.

Целью методических указаний является оказание методической помощи в самостоятельной работе студентов при изучении дисциплины «Технология обогащения твердого минерального сырья».

© КузГТУ, 2019

© Клейн М. С., Вахонина Т. Е.,
составление, 2019

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Технология обогащения твердого минерального сырья» является формирование у студента достаточного полного и правильного представления об одном из важнейших этапов в технологии использования минерального сырья – их обогащении и переработке. Познакомиться с типовыми схемами обогащения различных видов минерального сырья, с основными процессами, происходящими при обогащении и переработке руд минерального сырья, конструкциям и особенностям работы основных аппаратов, используемых для этих целей, а так же с областью применения основных видов минерального сырья в сфере материального производства.

Дисциплина «Технология обогащения твердого минерального сырья» формирует теоретические знания, практические навыки, вырабатывает компетенции, которые дают возможность выполнять следующие профессиональные задачи:

– производственно-технологическую: разрабатывать и реализовывать мероприятия по повышению экологической безопасности горного производства; руководствоваться в практической инженерной деятельности принципами комплексного использования георесурсного потенциала недр; разрабатывать и реализовывать мероприятия по совершенствованию и повышению технического уровня горного производства, обеспечению конкурентоспособности организации в современных экономических условиях;

– научно-исследовательскую: планировать и выполнять теоретические, экспериментальные и лабораторные исследования, обрабатывать полученные результаты с использованием современных информационных технологий; осуществлять патентный поиск, изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований; составлять отчеты по научно-исследовательской работе самостоятельно или в составе творческих коллективов; проводить сертификационные испытания (исследования) качества продукции горного предприятия, используемого оборудования, материалов и технологических процессов;

– организационно-управленческую: разрабатывать и реализовывать мероприятия по совершенствованию и повышению технического уровня горного производства, обеспечению конкурентоспособности организации в современных экономических условиях.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Технология обогащения твердого минерального сырья» относится к дисциплинам профессионального цикла СЗ.Б16 1 и является логическим продолжением ранее изученных теоретических дисциплин по отдельным методам и процессам разделения минерального сырья, приме-

нительно к специфическим особенностям твердых полезных ископаемых, как объектов обогащения.

Настоящая дисциплина предназначена для углубленного изучения происхождения, свойств, классификаций, способов переработки и использования твердых полезных ископаемых и опирается на знания дисциплин, согласно таблице:

№ п/п	Наименование дисциплины	Наименование разделов тем, усвоение которых необходимо студентам
1	Геология	1.2, 2.3, 3, 6.3
2	Метрология, стандартизация и сертификация в горном деле	Все разделы
3	Основы горного дела	1, 5, 12, 14
4	Гравитационные процессы обогащения	Все разделы
5	Флотационные процессы обогащения	Все разделы
6	Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения	Все разделы

3. Структура и содержание дисциплины «Технология обогащения твердого минерального сырья»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (144 ч + 36 ч на экзамен).

3.1. Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Раздел дисциплины	Содержание раздела
1	Введение [1, 2, 4].	Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых. Классификация и свойства твердого минерального сырья. Объем, динамика добычи и обогащения руд. Обогащение, его цели и задачи.
2	Технологические свойства минерального сырья и процессы переработки [1, 3, 4, 8].	Свойства минералов. Показатели обогащения полезных ископаемых и их обогатимости. Классификация процессов обогащения полезных ископаемых: механические методы обогащения; химические методы обогащения.
3	Технология обогащения руд цветных металлов (Cu, Ni, Pb, Zn, Mo, олово) [4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13].	Типы руд и месторождений цветных металлов. Технология, аппараты и схемы обогащения. Обоганительные фабрики.
4	Технология обогащения руд редких	Типы руд и месторождений редких и

№ раздела	Раздел дисциплины	Содержание раздела
	(литий, рубидий, церий, цезий) и редкоземельных металлов [4, 6, 7, 11, 12, 13].	редкоземельных металлов. Технология, аппараты и схемы обогащения. Обоганительные фабрики.
5	Технология обогащения руд черных металлов (Fe, Mn, Cr, Титан) [5, 6, 11, 12, 13].	Типы руд и месторождений черных металлов. Технология, аппараты и схемы обогащения. Обоганительные фабрики.
6	Технология обогащения руд благородных металлов (Au, Ag, Pt, платиноиды: осмий, иридий, палладий, рутений, родий) [5, 6, 7, 11, 12, 13].	Типы руд и месторождений благородных металлов. Технология, аппараты и схемы обогащения. Обоганительные фабрики.
7	Технология обогащения руд радиоактивных металлов (торий, урансодержащие руды, минералы урана) [5, 6, 7, 11, 12, 13].	Типы руд и месторождений радиоактивных металлов. Технология, аппараты и схемы обогащения. Обоганительные фабрики.
8	Технология обогащения руд неметаллических минералов [5, 6, 7, 11, 12, 13].	Типы руд и месторождений неметаллических минералов. Технология, аппараты и схемы обогащения. Обоганительные фабрики.
9	Технология обогащения руд группы углерода [5, 6, 7, 11, 12, 13].	Типы руд и месторождений углеродсодержащих минералов. Обоганительные фабрики.

3.2. Лабораторные занятия

Неделя семестра	№ раздела	Наименование работы
5	6	№ 1 Определение производительности, степени дробления и гранулометрического состава дробленого продукта щековой дробилки. Сдача и защита отчетов по лабораторным работам.
7	7	№ 2. Изучение сухой магнитной сепарации сильно и слабомагнитных руд. Сдача и защита отчетов по лабораторным работам.
9	8	№ 3. Определение физических свойств минеральных зерен. Сдача и защита отчетов по лабораторным работам
11	9	№ 4. Определение удельной поверхности сгущения. Сдача и защита отчетов по лабораторным работам
13	6-9	Сдача и защита отчетов по лабораторным работам

3.4. Самостоятельная работа студента

3.4.1. Очная форма обучения

Раздел дисциплины	№-недели	Вид СРС
1-9	1-13	<i>СИД, Лзп,</i>
1-9	1-13	Работа с Интернет ресурсами
		Чтение основной и дополнительной литературы по дисциплине с конспектированием по разделам:
2	5	Дз 1. Вспомогательные процессы и аппараты при обогащении полезных ископаемых [11, 13]. Технология обезвоживания и организация водооборота на обогатительных фабриках.
2	9	Дз 2. Охрана окружающей среды при обогащении полезных ископаемых [6, 13].
3	13	Дз 3. Направления совершенствования и развития процессов обогащения полезных ископаемых [5, 11, 12].
1-9	1-17	Подготовка к промежуточному и итоговому контролю

В течение всего семестра студенты самостоятельно изучают теоретический курс дисциплины (темы лекционных занятий и темы, не вошедшие в лекции). Промежуточный контроль проводится на 5, 9, 13 и 17-й неделях соответственно. Итоговый контроль проходит в виде экзамена в конце 9-го семестра.

Работа с конспектом лекций

Работа с конспектом лекций заключается в следующем. После изучения каждого раздела дисциплины студент на основании своего конспекта лекций самостоятельно в период между очередными лекционными занятиями производит изучение материала с указанием неясных, непонятных положений лекции. Эти вопросы затем подлежат уяснению на консультациях по курсу, которые предусмотрены учебным планом.

Подготовка к выполнению лабораторного практикума

Программа курса предусматривает выполнение шести лабораторных работ (табл. 3). Подготовка к лабораторным занятиям заключается в работе с конспектом лекций по данной теме, в изучении соответствующего раздела учебника или учебного пособия, в просмотре дополнительной литературы. Выполнение лабораторных работ происходит в лаборатории кафедры «Обогащение полезных ископаемых». Оформление работы выполняется студентом самостоятельно.

Контроль самостоятельной работы

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляет преподаватель в аудитории. Предусматривается использовать следующие виды контроля:

- собеседование;
- устный опрос;
- компьютерное тестирование
- отчет, формат А4.

Результаты контроля СРС используются для оценки текущей успеваемости, проводимой на 5-й, 9-й, 13-й и 17-й неделях семестра при проставлении контрольных точек.

3.4.2. Заочная форма обучения

Раздел дисциплины	№ недели	Вид СРС
1-9	1-17	<i>СИД, Лзп,</i>
1-9	1-17	Работа с Интернет ресурсами
1-9		Чтение основной и дополнительной литературы по дисциплине [4, 5, 6, 11,12, 13].
1-9	1-17	– выполнение контрольного задания [4, 5, 9, 10, 12, 13]
1-9	Экзаменационная сессии	Подготовка к лабораторным работам № 1, 4 и оформление отчетов [4, 5, 9, 10, 12, 13]

3.4.3. Контрольная работа (для студентов заочного обучения)

Контрольная работа состоит из 1 теоретического вопроса для каждого студента. Темы теоретических вопросов отражают содержание разделов:

1. Введение [1, 2, 4].
2. Технологические свойства минерального сырья и процессы переработки [1, 3, 4, 8].
3. Технология обогащения руд цветных металлов (Cu, Ni, Pb, Zn, Mo, олово) [4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13].
4. Технология обогащения руд редких (литий, рубидий, церий, цезий) и редкоземельных металлов [4, 6, 7, 11, 12, 13].
5. Технология обогащения руд черных металлов (Fe, Mn, Cr, Титан) [5, 6, 11, 12, 13].
6. Технология обогащения руд благородных металлов (Au, Ag, Pt, платиноиды: осмий, иридий, палладий, рутений, родий) [5, 6, 7, 11, 12, 13].
7. Технология обогащения руд радиоактивных металлов (торий, урансодержащие руды, минералы урана) [5, 6, 7, 11, 12, 13].
8. Технология обогащения руд неметаллических минералов [5, 6, 7, 11, 12, 13].
9. Технология обогащения руд группы углерода [5, 6, 7, 11, 12, 13].

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1. Введение. Сырьевая база цветной металлургии.

В недрах Российской Федерации заключена значительная часть мировых разведанных запасов важнейших видов полезных ископаемых (алмазов, никеля, природного газа, палладия, нефти, углей, золота и серебра). Численность населения России составляет лишь 2,6 % общей численности населения Земли, однако наша страна обеспечивает более половины мировой добычи палладия, четверть никеля, природного газа и алмазов, свыше 10 % нефти и платины.

Добыча и переработка полезных ископаемых составляет основу экономики всех наиболее благополучных субъектов Российской Федерации. Нефть, природный газ, уголь, черные, цветные и благородные металлы, алмазы обеспечивают стабильную социально-экономическую обстановку в регионах севера европейской части России, Урала, Западной Сибири, Кузбасса, Норильского горнопромышленного узла, Восточной Сибири и Дальнего Востока. По общей стоимости добытых из недр полезных ископаемых Россия стабильно занимает второе место в мире. Таким образом, Россия является одним из крупнейших мировых производителей и экспортеров минерального сырья, а ее минерально-сырьевая база является важным резервом обеспечения жизнедеятельности человечества в будущем. Перспективы дальнейшего наращивания добычи полезных ископаемых в России во многом определяются состоянием ее минерально-сырьевой базы: количеством, качеством и географическим распределением пригодных к рентабельной отработке запасов минерального сырья, а также возможностью их воспроизводства за счет прогнозных ресурсов.

Возможность использования месторождения определяется не только ценностью и содержанием полезного компонента, его запасами, географическим расположением, условиями добычи и транспортирования, но и наличием эффективной технологии переработки добываемых полезных ископаемых.

Процесс обогащения занимает промежуточное положение между добычей и последующей переработкой полезных компонентов. Он обусловлен технологией дальнейшей переработки полезных ископаемых. Обогащение полезных ископаемых – это комплекс технологических мероприятий, направленных на повышение концентрации полезных компонентов в минералах, добытых из недр.

Минеральное сырье делят на рудное (металлическое), нерудное и горючее (органическое).

Рудное минеральное сырье, используемое для получения металлов в технически чистом виде, состоит из природных минералов. Минералы руд содержат в основном оксиды и сульфиды металлов (оксиды железа, сульфиды меди, цинка) и оксиды соединений, составляющих пустую породу (оксиды кремния, алюминия, кальция, магния).

По составу минералов руды бывают окисленными (состоящими из оксидов), сульфидными и самородными. Руды, в состав которых входят соединения разных металлов, называют полиметаллическими.

Нерудное минеральное сырье разнообразно по химическому составу и либо применяется в естественном состоянии (песок, глина, асбест, слюда и др.), либо поступает на химическую переработку (сульфаты, фосфаты, карбонаты, хлориды, алюмосиликаты и т. п.).

Горючие минеральные ископаемые – торф, бурые и каменные угли, сланцы, а также нефть и природный газ относят к органическим соединениям и используют в качестве сырья и источников энергии

[1, 2, 4]

Вопросы и задания для самопроверки

1. Расскажите о роли и значении обогащения полезных ископаемых для развития народного хозяйства страны.
2. Охарактеризуйте прорывные направления развития технологии первичной переработки полезных ископаемых.
3. По каким признакам характеризуют качество руд?
4. Как классифицируют руды по содержанию ценного компонента, по степени окисленности, крупности, крепости и характеру вкрапленности ценного компонента?
5. Какова доля различных видов сырья в общей ценности недр России?
6. Сколько составляет доля России в распределении полезных ископаемых от мировых разведанных запасов?
7. Перечислите факторы, указывающие на целесообразность обогащения полезных ископаемых.
8. Какие основные виды сырья добываются в Красноярском крае (процент от России)?
9. Сформулируйте понятие «минеральные ресурсы».
10. Как руды подразделяют по твердости?
11. Чем определяется граница деления руд на богатые, бедные и балансовые?

Т е м а 2 . Технологические свойства минерального сырья и процессы переработки

Объектами деятельности горно-обогатительных предприятий являются твердые полезные ископаемые. В основу процесса обогащения положены различия минералов в определённых свойствах. Чем контрастнее эти различия, тем выше эффективность разделения минералов. К свойствам минералов, положенным в основу разделения, относятся: плотность, смачиваемость водой, магнитная восприимчивость, электропроводность, цвет, блеск, твёрдость, коэффициент трения, радиоактивное излучение и т. д.

Процесс обогащения включает следующие операции:

1. Подготовительные. К ним относятся: дробление, измельчение, грохочение. Предназначены для подготовки материала к обогащению.
2. Основные. К ним относятся: гравитационные процессы, флотационные процессы, магнитное обогащение, электрическое обогащение, специальные методы обогащения. Предназначены для непосредственного разделения минерала на полезные компоненты и отходы.
3. Вспомогательные. К ним относятся: обезвоживание, классификация на товарные сорта. Предназначены для доведения продуктов обогащения до нормативных показателей.

В результате обогащения получают один или несколько концентратов и отходы (хвосты). Эти продукты характеризуются качественно-количественными показателями.

К количественным показателям относятся нагрузка и выход.

Нагрузка (Q , т/ч) – это выраженное в тоннах в час количество материала, поступающего в операцию.

Выход (γ , %) – это выраженное в процентах к исходному материалу количество продукта.

Качество продуктов обогащения оценивается следующими показателями.

Для углей – это:

Зольность (A^d , %), характеризует количество негорючего остатка после сжигания единицы массы продукта.

Влажность (W^r , %), характеризует содержание влаги в единице массы продукта.

Содержание серы – сернистость (S^d , %), характеризует содержание серы в углях или продуктах обогащения.

Содержание летучих веществ (V^d , %) – характеризует содержание углеводородов в угле.

Для руд используются следующие показатели:

- Содержание металла в исходной руде.... α , %;
- Содержание металла в концентрате β , %;
- Содержание металла в отходах θ , %;

Эффективность процесса оценивается показателем, который называется **извлечение** (ε , %). $\varepsilon = \gamma_{кт} \cdot \beta / \alpha$, %

[1, 3, 4, 8]

Вопросы и задания для самопроверки

1. Каково значение обогащения полезных ископаемых для народного хозяйства?

2. Каким параметром определяется качество добываемого полезного ископаемого?

3. Перечислите основные методы обогащения и укажите, какие физико-химические свойства лежат в основе этих методов разделения.
4. Дайте определение понятий: концентрат, хвосты и промпродукт.
5. Что называется выходом, содержанием, извлечением, степенью концентрации и эффективностью обогащения?
6. Назначение и классификация флотационных реагентов.
7. Приведите классификацию флотационных машин.
8. На каких физических свойствах обогащаемого материала основано магнитное обогащение?
9. Как классифицируются минералы по их магнитным свойствам, и какая напряженность магнитного поля требуется для обогащения минералов различных групп?
10. В чем заключается сущность электрического обогащения?
11. На чем основано радиометрическое обогащение?
12. С какой целью выполняют обезвоживание?

Т е м а 3 . Технология обогащения руд цветных металлов

Руды цветных металлов весьма разнообразны по своему составу и свойствам. В настоящее время они являются источником получения 74 элементов из 104 элементов периодической системы.

Промышленные типы руд классифицируются по химическому и минеральному составу, степени окисленности, текстурно-структурным особенностям и характеру вкрапленности, крепости, дробимости, обогатимости.

По содержанию основных ценных компонентов выделяются руды: медные, медно-молибденовые, медно-никелевые, медно-цинковые, молибденовые, свинцовые, полиметаллические, вольфрамовые, молибдено-вольфрамовые и др. Наряду с основными, в рудах присутствуют сопутствующие ценные элементы: золото, серебро, платина, кадмий, германий, индий, селен, теллур, таллий, галлий и др.

В зависимости от соотношения минеральных форм основных металлов руды подразделяются на сульфидные (более 80 % сульфидных минералов), окисленные (менее 50 % сульфидных минералов) и смешанные (от 50 до 80 % сульфидных минералов). Основная масса цветных металлов (80–85 %) сосредоточена в сульфидных рудах.

Несульфидные минералы в рудах представлены оксидами, силикатами, карбонатами, фосфатами и другими минералами в различных соотношениях.

По содержанию ценных компонентов руды делятся на богатые, бедные и забалансовые (непромышленные). Границы между ними определяются состоянием техники и технологии обогащения, а также потребностями государства в металлах. Например, в России к промышленным относят медные руды при содержании в них меди более 0,4 %, а в Канаде и США перерабатывают руды с содержанием 0,2–0,3 % меди.

В связи с комплексным характером руд цветных металлов, мелкой и тонкой вкрапленностью ценных компонентов основным методом их обогащения является флотация.

В результате обогащения руд цветных металлов получают более 35 видов концентратов и продуктов. Требования к качеству концентратов и продуктов определяются ГОСТами и техническими условиями, регламентирующими содержание основного металла и примесей. Например, технические требования к медным концентратам различных марок устанавливают содержание меди не менее 20–40 % и примесей: не более 2–10 % цинка; 2,5–8 % свинца. Для цинковых концентратов: не менее 15–60 % цинка и примесей: не более 4–18 % железа; 0,9–11 % меди; 0,05–9 % мышьяка; 2–18 % кремнезема.

Технология переработки руд цветных металлов определяется характеристикой качества исходного сырья, техническими условиями на конечную продукцию и отличается большим разнообразием применяемых вариантов. Основными элементами технологии являются: рудоподготовка; дробление и измельчение; обогащение методом флотации; обезвоживание продуктов обогащения.

Необходимо усвоить типы руд и месторождений цветных металлов. Ознакомиться с технологической характеристикой их и классификацией по химическому и минералогическому составу, по степени окисленности, крупности и характеру вкрапленности рудных минералов, крепости, текстурно-структурным особенностям и содержанию металлов. Знать понятия бортовое и минимальное промышленное содержание металлов. Технологические типы и сорта руд. Требования к концентратам и продуктам обогащения. Иметь представление о принципиальной схеме и методах обогащения.

[4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13]

Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите основные минералы руд цветных металлов.
2. Перечислите фосфатные и ниобийсодержащие минералы.
3. Назовите месторождения фосфатно-редкометалльных руд Восточной Сибири.
4. Перечислите методы обогащения руд цветных металлов.
5. Укажите основной метод обогащения руд цветных металлов.
6. Расскажите о малоотходной технологии руд цветных металлов.
7. Расскажите о комплексном использовании фосфатно-редкометалльных руд.
8. Перечислите важнейшие промышленные типы медных руд.
9. Приведите классификацию руд свинца и цинка в зависимости от содержания в них основных и сопутствующих ценных компонентов.
10. Какие факторы влияют на качество рудного сырья?

Т е м а 4. Технология обогащения руд редких (литий, рубидий, церий, цезий) и редкоземельных металлов

К рудам редких металлов относят минералы, которые содержат:

- 0,5–1 % оксида лития. Основным методом обогащения литиевых руд является флотация, так как минералы сподумен и амблигонит хорошо флотируются карбоновыми кислотами, а все остальные литиевые минералы флотируются катионными собирателями.
- 0,02 до 2 % и более оксида бериллия. Наиболее распространенными минералами являются: берилл, фенакит, бертраидит. При этом берилл является практически единственным минералом, извлекаемым в настоящее время в промышленных масштабах. Поскольку все минералы немагнитны, непроводники и близки по плотности, наиболее эффективным методом их обогащения является флотация. Для обогащения бериллиевых руд применяются две принципиально различные схемы флотации – кислотная и щелочная.
- титан- и цирконийсодержащие руды коренных и россыпных месторождений. Наиболее распространенными минералами титана являются: ильменит (52,6 %); рутил (95 %); перовскит CaTiO_3 (58,9 %) и сфен CaTiSiO_5 (40,8 %). Обогащение титаноциркониевых руд и песков обычно осуществляется в два этапа: первичное обогащение с получением черновых гравитационных концентратов, содержащих ильменит, рутил, циркон, монацит, магнетит с максимальным их извлечением и доводкой и разделением коллективного концентрата на моноконцентраты с применением электрической и магнитной сепарации.
- оловосодержащие руды с содержанием 0,3–1 %, в песках россыпных месторождений – 0,01–0,04%. При обогащении оловянных руд и россыпей используют три основных типа схем: гравитационно-флотационные; флотационно-гравитационные и комбинированные, включающие операции обогащения и гидрометаллургии.

К группе редкоземельных металлов относят скандий, иттрий, лантан и 14 лантаноидов (церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций). Известно более 250 минералов, содержащих редкоземельные металлы, но к собственно редкоземельным минералам относятся только 60–65, в которых содержание оксидов редкоземельных элементов превышает 5–8 %.

Основное промышленное значение имеют следующие минералы: монацит, ксенотим, бастнезит, паризит, эвксенит, самарскит, фергусонит. Все отмеченные минералы отличаются высокой плотностью 4300–5500 кг/м³, слабой магнитной восприимчивостью и низкой электропроводностью. К числу нередкземельных минералов с высоким содержанием редкоземельных элементов относятся: апатит, фосфорит, лопарит, пирохлор. Редкоземельные элементы извлекаются при их переработке на удобрения (apatит, фосфорит) и при получении ниобия и тантала (лопарит, пирохлор). Редкоземельные

элементы представлены в рудах россыпных и коренных месторождений.

Обогащение россыпей осуществляется дешевыми и достаточно эффективными методами, так как материал находится в естественно измельченном виде и обычно не содержит сростков. Добываемые пески, если это необходимо, подвергаются дезинтеграции и классификации. Для первичного обогащения применяют гравитационные методы (обогащение на шлюзах, отсадка, концентрация на столах и винтовых сепараторах) с получением коллективного концентрата. Доводка первичного концентрата осуществляется по комбинированным схемам, включающим гравитационное, магнитное, электрическое и флотационное обогащение. При этом отделение монацита и эвксенита в процессе их разделения с ильменитом, гранатом и колумбитом осуществляется магнитной сепарацией в слабых и сильных полях и электрической сепарацией в электростатических сепараторах. В магнитную фракцию выделяются ильменит, фанат и колумбит, в непроводящую – монацит и эвксенит.

[4, 6, 7, 11, 12, 13].

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные минералы руд редких металлов.
2. Перечислите методы обогащения руд редких металлов.
3. Как обогащают литиевые руды?
4. Перечислите методы обогащения руд редких металлов.
5. Какие редкоземельные минералы содержат редкоземельные элементы?
6. Схемы обогащения руд россыпных и коренных месторождений.
7. Какие методы обогащения используют для руд россыпных и коренных месторождений?
8. Назовите схемы флотации бериллия
9. Какие схемы используют при обогащении оловянных руд и россыпей?

Т е м а 5. Технология обогащения руд черных металлов

Основное промышленное значение имеют магнетитовые, гематитовые, гематит-магнетитовые и в меньшей мере бурожелезняковые и сидеритовые руды. Содержание железа в магнетитовых рудах составляет 31–35 %, в гематитовых – 40–50 %, бурожелезняковых – 20–40 %, сидеритовых 28–33 %.

Качество концентратов для различных месторождений регламентируется соответствующими стандартами и техническими условиями.

Магнетитовые руды представлены в основном рудным минералом магнетитом Fe_3O_4 (72,3 % Fe). Кроме магнетита в зонах выветривания имеются значительные содержания гематита, мартита Fe_2O_3 (69,9 % Fe) и сидерита FeCO_3 (48,3 % Fe). Пустая порода представлена кварцем (SiO_2), полевыми шпатами, железистыми силикатами, карбонатами и др.

Наиболее широко распространенную группу магнетитовых руд составляют магнетитовые кварциты осадочно-метаморфического происхождения (район Курской магнитной аномалии, Оленегорское, Кировогорское и другие месторождения).

Вкрапленность и магнитная восприимчивость являются наиболее важными технологическими характеристиками магнетитовых кварцитов.

Марганцевые руды представлены в основном оксидными, карбонатными и смешанными (карбонатно-оксидными) разновидностями.

В оксидных рудах марганец представлен пиролюзитом MnO_2 (63,2 % Mn), манганитом $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$ (62,5 % Mn), псиломеланом $mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ (до 55 % Mn) и др., а нерудная часть состоит из кварца SiO_2 , глины (алюмосиликаты – $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot Fe_2O_3 \cdot MgO$ и др.), полевых шпатов, слюды, карбонатов и др.

Карбонатные руды представлены манганокальцитом $(Ca,Mn)CO_3$, родохритом $MnCO_3$ (47,8 % Mn), оксидными минералами марганца. Пустая порода состоит из гидроксидов железа, кварца, полевых шпатов, глины и др.

Среднее содержание марганца в оксидных рудах составляет 19,5–37,5 %, в карбонатных – 16–21%.

Вредными примесями в марганцевых рудах являются фосфор и кремнезем.

Марганцевые руды обогащают по схемам, включающим промывку, обогащение в тяжелых суспензиях, отсадку, магнитную сепарацию и флотацию.

На месторождениях *хромовые руды* представлены сплошными или вкрапленными разновидностями, сложенными хромшпинелидами, силикатами, хлоритами и др. Качество хромовых руд определяется количественным соотношением оксидов Cr_2O_3 , FeO, Fe_2O_3 , MgO, Al_2O_3 в хромсодержащих минералах – хромшпинелидах – и зависит от их назначения. Так, например, для производства ферросплавов они нормируются по химическому составу, %: Cr_2O_3 – 47–50; SiO_2 – 7–10; Cr_2O_3/FeO – 3–3,5 и P – 0,008.

К балансовым запасам относят руды, содержащие 32–33 % Cr_2O_3 при отношении Cr_2O_3/FeO не менее 2,5. Богатые хромовые руды с содержанием не менее 45 % оксида хрома Cr_2O_3 подвергают только дроблению и грохочению на отдельные товарные сорта по крупности.

При изучении данной темы необходимо запомнить, какими главными (основными) минералами могут быть представлены железные, марганцевые и хромовые руды. Следует знать типы руд и месторождений, усвоить технологию подготовки и обогащения этих руд и уметь рисовать схемы их обогащения.

[5, 6, 11, 12, 13]

Вопросы для самопроверки

1. Назовите рудные минералы железных руд.
2. Перечислите основные полезные и породообразующие минералы марганцевых руд.

3. Укажите минералы хромовых руд, имеющие важное промышленное значение.
4. Перечислите основные типы железных руд.
5. Назовите типы марганцевых руд.
6. На какие типы делятся хромовые руды?
7. Какими методами могут обогащаться железные, хромовые марганцевые руды?
8. Нарисуйте схему обогащения магнетитовых руд.
9. Изобразите схему обогащения марганцевых руд.
10. Нарисуйте одну из схем обогащения хромовых руд.

Тема 6. Технология обогащения руд благородных металлов (Au, Ag, Pt, платиноиды: осмий, иридий, палладий, рутений, родий)

Яркими представителями руд благородных металлов являются золото- и алмазсодержащие руды.

Месторождения золота делятся на две основные группы: коренные и россыпные. Из коренных месторождений добывают более 75 % золота, из россыпных – 25 %.

Коренные золотосодержащие руды в месторождениях представлены кварцевыми жилами и штокверками различных размеров. Кроме золота в рудах содержится группа сульфидных минералов: пирит, халькопирит, галенит, арсенопирит, серебро, висмут и другие металлы. Содержание золота в Коренных рудах колеблется от нескольких до десятков граммов на 1 т руды.

Золотосодержащие россыпи представлены современными русловыми, долинными и террасовыми, а также погребенными россыпями. Промышленное содержание золота в россыпях составляет 80–200 мг/м³ и более.

Золото в месторождениях чаще всего встречается в виде самородного металла, а также связанное с минералами меди, железа, ртути, висмута, платины и теллуридов. Промышленное значение имеет лишь самородное золото, а также связанное с теллуридами, платиной и сульфидами, извлекаемое из этих соединений на стадии металлургической переработки.

Для извлечения золота из золотосодержащих руд используют различные обогатительные, гидро- и пирометаллургические методы: ручную сортировку, гравитационное обогащение, флотацию, амальгамацию, цианирование, сорбцию, плавку. Чаще всего обработку руд ведут по комбинированным схемам в сочетании различных методов.

Обогащение золотосодержащих россыпей осуществляется на стационарных обогатительных фабриках или на драгах с использованием в основном гравитационных методов.

Источником добычи алмазов являются руды коренных месторождений и россыпей.

Коренные месторождения, имеющие промышленное значение, представлены кимберлитами, в которых алмазсодержащая руда залегает в виде крутопадающих трубчатых тел диаметром 40–60 м. В состав кимберлита

входят оливин, гранат, пироксены, шпинель, хромит, корунд, рутил, ильменит, кальцит, доломит.

Основным источником добычи алмазов из россыпей являются аллювиальные месторождения длиной несколько километров, шириной до 200 м и мощностью алмазоносного пласта до 1 м. Среднее содержание алмазов в россыпных месторождениях составляет не ниже 0,1 кар/м³ (1 карат равен 0,2 г).

Особенности обогащения алмазодержащих руд обусловлены чрезвычайно низким содержанием алмазов в исходном сырье (всего около 0,000005 %), их хрупкостью и большой ценностью, предопределяющей необходимость достижения высокой степени извлечения алмазов.

Технологии обогащения алмазодержащих руд и россыпей, как правило, включают процессы дезинтеграции исходного сырья, получение грубых первичных концентратов, извлечение алмазов из первичных концентратов.

Изучая тему, необходимо усвоить основные типы месторождений рудного золота и россыпей, их минералогический и гранулометрический состав, особенности подготовки к обогащению руд и россыпей, способы и средства их обогащения, схемы обогащения. Особое внимание следует обратить на технологию обработки основных типов коренных руд. Так же необходимо изучить свойства алмазов и области их применения, вещественный состав руд и россыпей, особенности подготовки их к обогащению. Особое внимание следует уделять способам, средствам обогащения алмазов и схемам обогатительных фабрик.

[5, 6, 7, 11, 12, 13]

Вопросы для самопроверки

1. Опишите основные типы руд и их минералогические особенности.
2. Каковы оптические свойства алмазов?
3. Изложите особенности подготовки к обогащению россыпных месторождений алмазов.
4. Опишите особенности подготовки к обогащению рудного алмазного сырья.
5. Опишите принцип обогащения алмазов в концентрационных чашах.
6. Каковы особенности тяжелосредной сепарации алмазов?
7. Опишите особенности отсадки алмазов.
8. Расскажите о жировом процессе сепарации алмазов.
9. На чем основана электрическая сепарация алмазов?
10. Как протекает оптическая сепарация алмазов?
11. Расскажите о технологии рентгенолюминесцентной сепарации.
12. Расскажите о флотации алмазов.
13. Как осуществляется обогащение алмазов по твердости (аппарат ГАЦиЗ)?
14. В каких областях применяют алмазы?
15. Какие известны генетические типы алмазных россыпей?
16. Какие известны типы коренных месторождений алмазов?

17. В чем заключается первичное обогащение алмазов?
18. Какие из способов гравитации применяют при обогащении алмазов?
19. Какие методы обогащения наиболее распространены при обогащении алмазов?
20. Какие аппараты применяются для электрической сепарации алмазов?
21. На каких свойствах алмазов основана ручная сортировка?
22. На какие типы делятся руды золота?
23. Какие используются методы извлечения золота из золотосодержащих песков?
24. Какие используются гравитационные способы извлечения золота из золотосодержащих песков?
25. Какие отсадочные машины наиболее часто используются для обогащения золота?
26. Какие реагенты применяют при флотации золота?
27. Для каких продуктов применяется цианирование?
28. Какие вы знаете методы предварительного обогащения золотосодержащих руд?

Тема 7. Технология обогащения руд радиоактивных металлов (торий, урансодержащие руды, минералы урана)

Сущность явления радиоактивности заключается в самопроизвольном распаде атомов некоторых природных и искусственных химических элементов и превращении их в иные радиоактивные или стабильные элементы. Наиболее характерными представителями природных радиоактивных элементов являются уран и торий.

В естественных условиях все радиоактивные элементы приходят в состояние радиоактивного равновесия с продуктами своего распада, если последние не мигрируют под воздействием природных агентов.

Кроме урана и тория с их дочерними радиоактивными элементами известно еще несколько природных радиоактивных элементов, так например: ${}_{19}\text{K}^{40}$, ${}_{37}\text{Rb}^{87}$, ${}_{62}\text{Sm}^{147}$ и др.

Радиоактивные элементы, распадаясь, испускают радиоактивные излучения альфа, бета и гамма.

Обычно хорошо освоенные промышленностью способы обогащения полезных ископаемых, в том числе гравитационные и флотационные процессы оказались для урановых руд недостаточно эффективными.

В результате настойчивых поисков более эффективного обогатительного процесса для урановых руд был разработан принципиально новый процесс – радиометрическая сепарация, основанные на использовании такого свойства урановых минералов, по которому они резко отличаются от многих других минералов, – радиоактивности.

Радиометрическая сепарация урановых руд осуществляется специальными аппаратами – радиометрическими сепараторами. Они оборудованы приборами, измеряющими радиоактивность руды, и механизмом, автоматически отделяющим куски или фракции с повышенной или, наоборот, с пониженной радиоактивностью. При радиометрической сепарации не требуется измельчение руды, не расходуются реагенты, вода, топливо и очень мало потребляется электроэнергии, поэтому обогащение руды обходится дешево.

[5, 6, 7, 11, 12, 13]

Вопросы для самопроверки

1. Назовите известные природные радиоактивные элементы.
2. Сущность явления радиоактивности?
3. Назовите область применения радиоактивных металлов.
4. Какие способы обогащения применяют при обогащении урановых руд?
5. Как осуществляется радиометрическая сепарация урановых руд?

Тема 8. Технология обогащения руд неметаллических минералов

Для обозначения неметаллических полезных ископаемых еще в недавнее время пользовались термином «нерудные ископаемые». На самом деле нерудным ископаемыми называются только те из неметаллических полезных ископаемых, которые представляют собою породы и используются непосредственно без выделения из них полезных минералов. Примером нерудных ископаемых могут служить естественные строительные материалы, а также сырье для них и вяжущих материалов.

Неметаллическое сырье является источником получения ряда минеральных удобрений, продуктов для химической, электротехнической, керамической и других отраслей промышленности.

Большое разнообразие типов неметаллического сырья предполагает применение широкого спектра процессов и аппаратов для его переработки и обогащения. К основным процессам можно отнести промывку, дезинтеграцию, классификацию по крупности, пенную сепарацию, пенную флотацию и магнитную сепарацию.

В результате переработки и обогащения горно-химического сырья получают более 10 видов концентратов и продуктов, удовлетворяющих государственным стандартам и техническим условиям. К основным видам продукции относятся: концентраты апатитовый, нефелиновый и фосфоритный; мука фосфоритная; хлористый калий; сера техническая, комовая, гранулированная и молотая.

[5, 6, 7, 11, 12, 13].

Вопросы для самопроверки

1. Какие неметаллические минералы вы знаете?
2. В каких отраслях нашли широкое применение неметаллические руды?

3. Какие методы применяются при обогащении фосфоритовых руд?
4. Особенность процесса флотации фосфоритовых руд?
5. Технология обогащения апатитовых руд?
6. Что получают из апатитовых руд?
7. В каких отраслях промышленности используют калийные руды?
8. Какими минералами представлены калийные руды?
9. Основные методы обогащения калийных руд?
10. Основные месторождения серных руд?
11. Направления использования серы?
12. Технология подготовки руды к обогащению, а также методы обогащения и переработки серного концентрата?

Т е м а 9 . Технология обогащения руд группы углерода

Графит представляет собой одну из кристаллических форм углерода, отличающуюся слоистой кристаллической решеткой.

Графит обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, которые близки по величине к аналогичным свойствам металлов. Очень важна так же способность графита давать, отчетливую темную черту на бумаге. Некоторые значения имеет также его высокая термическая устойчивость: температура плавления – 3580–3630 °С. Графит химически устойчив и крепкие кислоты его не растворяют; соединяется с кислородом воздуха значительно медленнее и при более высокой температуре, чем уголь.

Очень важны для промышленного использования графита его жирность и пластичность. Первое связано с весьма малым коэффициентом трения и тем заметнее, чем он меньше. Чем крупнее кристаллики (чешуйки) графита, тем жирнее графит и тем легче он прилипает к поверхности металла и других материалов, как бы смазывая их.

Классификация графита по размерам кристаллов и характеру их строения позволяет их выделить отдельные разновидности, обладающие общими техническими свойствами и установить также связь графита с близкими по свойствам углями.

Графитовые руды в зависимости от структуры содержащегося в них графита разделяются на три типа: руды чешуйчатого, плотно кристаллического и скрытокристаллического графитов.

Наиболее ценными являются руды чешуйчатого графита, которые в связи с этим рассматриваются как промышленные даже при невысоком содержании графита (5–6 %), а для месторождений с большими запасами ещё меньше.

Плотнокристаллические графитовые руды характеризуются не редко более высоким содержанием графита, достигающим до 60–70 % и больше.

Руды скрытокристаллического графита представляют собою метаморфизованные угли, которые образуют ряд переходных форм от слабо изменённого антрацита до типичного скрытокристаллического графита. Иногда в одном и том же месторождении встречаются одновременно графит и антра-

цит. Месторождения руд этого типа характеризуются большими запасами. Содержание графита высокое – 70–80 % и больше. Руды с меньшим содержанием скрытокристаллического графита разрабатываются редко.

В промышленности используется также искусственный графит, специально приготовляемый из угля нагреванием в электропечах до 2200–2500 °С, и доменный, являющийся одним из продуктов доменного процесса. Качество графита, полученного в результате термической обработки угля, зависит от сорта угля и условий нагревания. Обычно он очень чист и отличается высокими качествами.

Современные требования различных отраслей промышленности к графитовому продукту предусматривают нормирование (допуск) ряда качественных и структурных показателей, основными из которых являются содержание золы и других вредных и балластных примесей, крупность зерен графита и его кристаллическое строение.

Обычно графитовые руды содержат повышенные количества балластных примесей и, следовательно, нуждаются в обогащении; без сложного предварительного обогащения могут использоваться руды, в которых содержание графита и примесей соответствует требованиям кондиций, как, например, руды Ногинского месторождения (Красноярский край).

В промышленности без обогащения используются явнокристаллические и скрытокристаллические графиты с содержанием углерода около 70% и выше. Руды явнокристаллического графита, поддающиеся обогащению, могут использоваться при содержании в них 3–5 % графита, а для крупных месторождений и 1–2 %.

Основным свойством графита, используемым при обогащении руд, является малая его смачиваемость и, следовательно, высокая флотуемость. Последняя также зависит от дисперсной его структуры. Чешуйчатый графит обладает наибольшей флотуемостью, скрытокристаллический – наименьший.

Графит легко флотуется при использовании углеводов в качестве собирателя и обычных вспенивателей. Простой состав реагентной смеси обеспечивает удовлетворительную избирательность флотации в отношении силикатов и окислов, к которым относится большинство минералов пустой породы в графитовых рудах.

Другое свойство, используемое при обогащении графитовых руд, это – трудная измельчаемость графита, также зависящая от его структуры и наиболее ярко проявляющаяся у чешуйчатого графита. При измельчении графитовых руд в тонкой фракции обычно концентрируются минералы пустой породы. Однако показатели обогащения методом избирательного измельчения графитовых руд, особенно чешуйчатых и плотно кристаллических, много ниже, чем при флотации.

Для обогащения графитовых руд, могут быть также использованы химическая устойчивость графита при невысоких температурах и термическая устойчивость, в восстановительной среде. Первая положена в основу химического, а вторая в основу термического обогащения.

Термическое обогащение заключается в нагревании измельченного графита в электрической печи до температуры несколько выше 2200° , при которой основная масса золообразующих примесей испаряется.

При изучении данной темы следует обратить внимание на свойства и разновидности графита, знать области применения графитовых изделий и требования к ним промышленности, типы графитовых руд и месторождений; усвоить способы обогащения графитовых руд.

[5, 6, 7, 11, 12, 13]

Вопросы для самопроверки

1. На какие типы делятся руды и месторождения в зависимости от структуры графита?

2. Охарактеризуйте основные факторы технологической классификации графитовых руд.

3. Назовите области народного хозяйства, в которых используется графит.

4. Перечислите методы, которыми обогащаются графитовые руды.

5. Объясните, на чем основано химическое обогащение графитовых руд.

6. Назовите кондиции на графитовые концентраты.

7. От чего зависит флотуемость графита?

8. Какие реагенты используются при флотации графитовых руд?

9. Назовите химические методы, использующиеся при обогащении графита.

10. Что послужило исходным материалом для образования ископаемых углей?

11. Как образовались сапропелевые угли?

12. Из чего образовались гумусовые угли?

13. Какие Вы знаете петрографические ингредиенты?

12. Какой основной метод обогащения углей?

13. Какие Вы знаете гравитационные процессы?

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Вопросы, рассматриваемые в контрольной работе, изучаются студентами самостоятельно. Задание выдается на установочной лекции. Изучение вопросов и выполнение работы производится в течение семестра, в котором изучается эта дисциплина, и сдается перед сессией преподавателю с регистрацией на кафедре обогащения полезных ископаемых, что соответствует принципам заочного обучения.

Работа должна содержать ответ на вопрос со ссылкой на литературные источники. При этом указать фамилию автора, название книги, год издания, номер страницы. Объем отчета по контрольной работе не менее 5 страниц текста (шрифт Times New Roman, 14 пт, интервал – одинарный, абзацный отступ 1,25 см. Выравнивание текста по ширине, расстановка переносов автоматическая).

В контрольной работе должны быть освещены следующие вопросы:

- Типы руд и месторождения
- Свойства и применение рудных концентратов
- Технология обогащения
- Принципиальная схема обогащения. Фабрики

Темы задания для выполнения контрольной работы (выбираются по порядковому номеру в списке группы):

- *обогащение руд черных металлов* [4, 5, 9, 10, 12, 13]
 1. Обогащение марганцевых руд
 2. Обогащение хромовых руд
 3. Обогащение железных руд
- *обогащение руд цветных металлов* [5, 9, 10, 12, 13]
 4. Обогащение медных руд
 5. Обогащение медно-пиритных руд
 6. Обогащение медно-цинковых руд
 7. Обогащение медно-свинцово-цинковых руд
 8. Обогащение медно-молибденовых руд
 9. Обогащение медно-никелевых руд
 10. Обогащение свинцово-цинковых руд
 11. Обогащение алюминийсодержащей руды
- *обогащение руд редких и редкоземельных металлов* [5, 9, 10, 12, 13]
 12. Обогащение литиевых руд
 13. Обогащение титано-циркониевых песков
 14. Обогащение бериллиевых руд
 15. Обогащение оловянных руд
 16. Обогащение танталониобиевых руд
 17. Обогащение вольфрамовых руд
 18. Обогащение руд редкоземельных металлов
- *обогащение руд благородных металлов и алмазов* [4, 5, 9, 10, 12, 13]
 19. Обогащение золотосодержащих руд и россыпей
 20. Обогащение алмазсодержащих руд и россыпей
- *обогащение неметаллических полезных ископаемых* [4, 5, 9, 10, 12, 13]
 21. Обогащение фосфоритовых руд
 22. Обогащение апатитовых руд
 23. Обогащение калийных руд
 24. Обогащение серных руд
 25. Обогащение графитовых руд
 26. Обогащение баритовых руд
 27. Обогащение тальксодержащих руд
 28. Обогащение слюдосодержащих руд
 29. Обогащение асбестсодержащих руд
 30. Обогащение флюоритовых руд

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Клейн, М. С. Технология обогащения углей [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. обогащения полез. ископаемых. – Кемерово : КузГТУ, 2011. – 128 с.

/ <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90655&type=utchposob :common/>

2. Федотов, К. В. Проектирование обогатительных фабрик : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. (специальности) 130400 «Горн. дело», специализация «Обогащение полез. ископаемых» / К. В. Федотов, Н. И. Никольская. – Москва : Горная книга, 2012. – 536 с.

3. Авдохин, В. М. Обогащение углей. Т. 1. Процессы и машины : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело». – Москва : Горная книга, 2012. – 424 с.

Дополнительная литература

4. Бочаров В. А. Технология обогащения полезных ископаемых : в 2 т. Т. 1 : Минерально-сырьевая база полезных ископаемых. Обогащение руд цветных металлов, руд и россыпей редких металлов : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело» / В. А. Бочаров, В. А. Игнаткина. – Москва : Руда и металлы, 2007. – 472 с.

5. Бочаров В. А. Технология обогащения полезных ископаемых : в 2 т. Т. 2 : Обогащение золотосодержащих руд и россыпей, обогащение руд черных металлов, обогащение горно-химического и неметаллического сырья : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело» / В. А. Бочаров, В. А. Игнаткина. – Москва : Руда и металлы, 2007. – 408 с.

6. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полез. ископаемых» направления подгот. дипломир. специалистов «Горн. дело». – Москва : Горная книга, 2008. – 315 с.

/ <http://www.biblioclub.ru/book/100029/>

7. Малышев, Ю. Н. Проектирование обогатительных фабрик. Т. 1 : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полез. ископаемых» направления подготовки «Горн. дело» и по направлению подготовки «Металлургия» / под ред. В. А. Чантурия; Акад. горн. наук, Моск. гос. горн. ун-т. – Москва : Московский издательский дом, 2009. – 490 с.

8. Пантелеева, Н. Ф. Гравитационные методы обогащения полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Н. Ф. Пантелеева, Д. В. Абрютин, А. Б. Пестриков. – Москва : МИСИС, 2004. –

40 с. <http://www.iqlib.ru/book/preview.visp?uid={2EE71A2A-17BA-4409-A452-643AD14A1185}&action=bo&idsLink=3008&resIndex=5&resType=1&searchWithText=False/>

9. Абрамов, А. А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Т. 3. Кн. 1. Рудоподготовка и Cu, Cu-Py, Cu-Fe, Mo, Cu-Mo, Cu-Zn руды : учеб. пособие для вузов. – Москва : Издательство МГГУ, 2005. – 575 с.

10. Абрамов, А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Т. 3. Кн. 2. Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg-содержащие руды : учеб. пособие для вузов. – Москва : Издательство МГГУ, 2005. – 470 с.

11. Абрамов, А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых : в 3 т. Т. 1. Обоганительные процессы и аппараты : учебник для вузов по направлению «Горное дело» по специальности «Обогащение полезных ископаемых». – Москва : МГГУ, 2004. – 470 с.

12. Абрамов, А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых : в 3 т. Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Горное дело» по специальности «Обогащение полезных ископаемых». – Москва : МГГУ, 2004. – 510 с.

13. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезн. ископаемых» направления подгот. дипломир. специалистов «Горн. дело» / Моск. гос. горн. ун-т. – Москва : Издательство МГГУ, 2006. – 310 с.