

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

  
Руководитель ОПОП ВО  
Профессор Т.Н. Александрова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФЛОТАЦИОННОГО  
ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.8. Недропользование и горные науки
Научная специальность:	2.8.9. Обогащение полезных ископаемых
Направленность (профиль):	Обогащение полезных ископаемых
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Составитель:	д.т.н., профессор Т.Н. Александрова

Санкт-Петербург

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «Физико-химические основы флотационного обогащения минерального сырья» и предназначены для самостоятельного изучения обучающимися.

Флотация один из основных процессов обогащения полезных ископаемых. Она применяется при обогащении 95% добываемых руд цветных металлов, а не металлических (фосфориты, графит, тальк, мелкие классы угля) – почти 100%. Такое широкое применение этого процесса объясняется тем, что флотация позволяет извлекать ценные компоненты наиболее полно и комплексно при необходимом качестве концентратов, а также обогащать тонко вкрапленные, бедные и те руды, которые не могут быть переработаны другими процессами.

Совершенствование и оптимизация флотационного процесса на действующих обогатительных фабриках являются основным резервом повышения извлечения металлов и комплексного использования сырья, позволяющим дополнительно получить десятки и сотни тонн металлов без существенных капитальных затрат при небольших эксплуатационных расходах.

Условием совершенствования технологии флотационного обогащения, оптимизации и интенсификации этого процесса является глубокое понимание химических и физико-химических процессов, протекающих в объеме пульпы и на поверхности минералов.

В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить аспиранту в рамках самостоятельной работы, в том числе при подготовке к практическим занятиям.

## СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ РУД НА ОБОГАТИМОСТЬ»

### Тема 1. Основные факторы, определяющие результаты флотации.

#### *Цели и задачи занятия:*

Сформировать и закрепить у аспирантов знания, необходимые для осуществления флотационных процессов обогащения, а также углубление знаний в области органической и неорганической химии по разделам необходимым для осуществления всех обогатительных процессов.

#### *Учебные вопросы по самостоятельной работе:*

1. Технологические показатели обогащения.
2. Условия, определяющие оптимальную крупность измельчения полезных ископаемых перед флотацией.
3. Влияние аэрации пульпы, интенсивности ее перемешивания и съема пены, продолжительности флотации, температуры и скорости потока пульпы на основные технологические показатели процесса.

#### *Методические указания:*

При изучении темы необходимо уяснить, что при изучении процесса флотации необходимо учитывать и процесс подготовки сырья к обогащению (оптимальная крупность измельчения, раскрытие сростков и пр.).

Минералогический состав полезного ископаемого, характер и размер вкрапленности полезных минералов, их содержание в исходном сырье, реагентный режим, плотность и температура пульпы, конструкция флотационной машины, состав исходной воды и др. оказывают значительное влияние на процесс флотации, а так же определяют его течение и технологические результаты. Значение данных факторов определяется экспериментально и должно поддерживаться в оптимальных пределах, так как изменение хотя бы одного из них влечет нарушение всего процесса.

Также флотируемость полезного ископаемого определяется его физико-химическими свойствами. Необходимо знать минеральный и химический составы, учитывать особенности образования минералов, их изменения в

процессе добычи, транспортирования, хранения, рудоподготовки и обогащения, сочетание различных минералов и их взаимное прораствание.

Крупность поступающего на флотацию полезного ископаемого должна соответствовать оптимальной гранулометрической характеристике, обеспечивающей наиболее полное раскрытие зерен полезного минерала, при этом, наличие в пульпе тонких шламов (менее 0,005 мм) ухудшает процесс флотации. Оптимальная подготовка руды к флотации является очень важной задачей, так как тонкие частицы породы загрязняют концентрат, а слишком крупные частицы в обычных условиях флотируются плохо и теряются с хвостами. Флотация осуществляется лучше всего при некоторой средней крупности частиц, обеспечивающей достаточно полное раскрытие минералов. Оптимальная крупность определяется опытным путем, исходя не только из технологических соображений, но и из учета содержания полезного минерала в руде и производительности фабрики.

При этом так же необходимо отметить такие параметры, как плотность и температура пульпы. С увеличением плотности пульпы, при постоянном объеме флотационных машин, производительность их несколько увеличивается, возрастает объемная концентрация реагентов, в ряде случаев увеличивается извлечение. Однако чрезмерное повышение плотности пульпы приводит к ухудшению аэрированности пульпы и флотации крупных частиц, снижению качества концентрата. Флотация разбавленных пульп позволяет получать более чистые концентраты, но несколько уменьшает производительность флотационных машин.

Повышение температуры пульпы интенсифицирует процесс флотации. Расход реагентов при этом снижается, что особенно заметно при использовании в качестве собирателей жирных кислот. Однако повышение температуры одновременно интенсифицирует процесс растворения минералов и приводит к образованию в пульпе ионов, способных нарушить процесс флотации.

Аэрированность пульпы и дисперсность воздушных пузырьков во флотационной машине должны быть оптимальными при равномерном

распределении пузырьков воздуха по всему объему. Уменьшение аэрированности пульпы приводит к снижению производительности флотационной машины, а чрезмерная ее аэрированность ухудшает результаты флотации за счет усиления коалесценции воздушных пузырьков.

*Задание для самостоятельного решения:*

*Задание.* На основании результатов кинетики измельчения руды (по вариантам) рассчитать оптимальное время измельчения с использованием уравнения Товарова.

*Варианты заданий.* Варианты приведены в табл.1.

Таблица 1

Продолжительность измельчения, мин	Кинетика измельчения руд суммарные остатки на ситах				
	0,295 мм	0,208 мм	0,147 мм	0,104 мм	0,074 мм
Вариант 1					
0	27,6	18,1	7,8	2,5	1,1
5	39,9	36,1	18,2	9,7	7,6
15	67,2	56,3	43,1	10,2	8,3
30	69,6	58,4	45,8	39,1	30,4
45	77,5	72,3	68,7	67,2	50,1
Вариант 2					
0	34,7	25,0	18,5	11	6,4
5	43,7	36,3	31,1	23,8	11,1
15	86,6	77,5	68,0	54,1	38,7
30	46,4	42,2	40,3	37,2	32,7
45	77,6	76,2	74,9	72,3	65
Вариант 3					
0	31,15	21,55	13,15	6,75	3,75
5	41,8	36,2	24,65	16,75	9,35
15	76,9	66,9	55,55	32,15	23,5
30	58	50,3	43,05	38,15	31,55
45	67,75	61,3	55,875	52,675	40,825

*Рекомендуемая литература:*

- основная: [1-2];
- дополнительная: [3-8].

## Тема 2. Свойства поверхности минералов. Способы улучшения состава жидкой фазы пульпы.

*Цели и задачи занятия:*

Сформировать и закрепить у аспирантов знания в области флотационных реагентов, их физических и химических свойств, методов

получения, особенностей действия, а также в области применения реагентов при флотации полезных ископаемых.

*Учебные вопросы по самостоятельной работе:*

1. Назначение, классификация и основные требования, предъявляемые к флотационным реагентам.
2. Формы закрепления реагентов на поверхности минералов.
3. Растворимость минералов и газов в воде.

*Методические указания:*

Реагенты, применяемые при флотации, обеспечивают высокую избирательность, стабильность и эффективность флотационного процесса, а также создают наибольшие возможности совершенствования и интенсификации этого метода обогащения. Без применения флотационных реагентов флотация практически невозможна.

Воздействие флотационных реагентов позволяет в широком диапазоне изменять поверхностные свойства минералов, что делает флотацию наиболее универсальным методом обогащения полезных ископаемых.

Состав флотационных реагентов весьма разнообразен. В их число входят органические и неорганические соединения, кислоты и щелочи, соли различного состава, вещества, хорошо растворимые и практически нерастворимые в воде.

Большинство основных флотореагентов - это органические соединения, свойства которых определяются строением их молекул. Поэтому необходимо знать номенклатуру органических соединений, чтобы уже по названию реагента представлять структуру его молекул и какие свойства его характеризуют.

В основу научной классификации и номенклатуры органических соединений положены принципы теории химического строения А.М. Бутлерова.

*Задание для самостоятельного решения:*

*Задание.*

*Задача 1.* При 291 К 1 дм<sup>3</sup> воды растворяет 1 дм<sup>3</sup> СО<sub>2</sub>, если давление СО<sub>2</sub> равно 101325 Па. Определить молярность раствора, над которым давление СО<sub>2</sub> при 291 °К равно 19998,35 Па.

*Задача 2.* Растворимость СО<sub>2</sub> в воде при температуре 293 °К составляет 0,873 см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> раствора. Определить растворимость СО<sub>2</sub> в воде в молях на 1 дм<sup>3</sup> раствора.

*Задача 3.* Вычислить моляльность 10 н. раствора серной кислоты. Плотность раствора равна 1,290 г/см<sup>3</sup>.

*Задача 4.* Вычислить моляльность и молярность 47 %-ого (по весу) водного раствора этилового спирта. Плотность раствора указанной концентрации 0,9204 г/см<sup>3</sup>.

*Задача 5.* В 50 мл воды растворили 18 г глюкозы. Какова моляльность полученного раствора?

*Задача 6.* Вычислить молярные доли (и молярные проценты) спирта и воды в 96 %-ом растворе этилового спирта.

*Задача 7.* Какой температуре соответствует увеличение растворимости кислорода в воде в 1,1 раза, если теплота растворения  $\Delta H = -10680$  Дж/моль. Первоначальная температура 313 °К.

*Задача 8.* Растворимость СО<sub>2</sub> в воде при  $T = 298$  К составляет при атмосферном давлении – 0,1449 г на 100 г воды. Определить растворимость СО<sub>2</sub> в молях на 1 дм<sup>3</sup> при температуре 283 °К. Теплота растворения  $\Delta H = -17050$  Дж/моль.

*Задача 9.* Раствор, содержащий 12,8 г нафталина (С<sub>10</sub>Н<sub>8</sub>) в 1000 г бензола (С<sub>6</sub>Н<sub>6</sub>), замерзает при 277,92 °К. Чистый бензол замерзает при 278,42 °К. Вычислить удельную теплоту плавления бензола в Дж/г.

*Задача 10.* Проба уксусной кислоты в растворе замерзает при 16,4 °С. Температура замерзания чистой уксусной кислоты равна 16,7 °С, ее криоскопическая постоянная равна 3,9. Определить, сколько молей примесей приходится на 1000 г кислоты.

*Рекомендуемая литература:*

- основная: [1-2];

- дополнительная: [3-8].

**Тема 3. Особенности флотации тонких классов и крупных частиц, основные пути повышения селективной флотации тонких шламов и флотационного извлечения крупных частиц.**

***Цели и задачи занятия:***

Закрепить знания в области флотационного обогащения полезных ископаемых, подготовка аспирантов к решению профессиональных задач, связанных с физико-химическими методами разделения минералов, формирование современного научного мировоззрения, развитие творческого естественно-научного мышления, ознакомление с методологией научных исследований.

***Учебные вопросы по самостоятельной работе:***

1. Технологические режимы и схемы флотации руд.
2. Очередность и способы подачи реагентов.
3. Схемы флотации и основные принципы их построения.

***Методические указания:***

В практике флотации руд обычно в одной операции флотации не удается получить два кондиционных по качеству продукта – концентрат и хвосты. Причины этого: близость флотационных свойств разделяемых минералов не обеспечивает высокую селективность флотации, необходимость получения нескольких продуктов обогащения, необходимость доизмельчения продуктов для более полного раскрытия сростков. Схемы флотации зависят от качества сырья и требований к конечным продуктам. Развитие и интенсификация процессов флотации возможно по нескольким направлениям:

1. Расширение исследований по разработке научных и фундаментальных основ процесса флотации.
2. Создание и внедрение нового и крупнообъемного оборудования.
3. Развитие научных основ и разработка методов кондиционирования водной и газообразной фаз.



4. Развитие теории и технологии флотации (развитие теории окисления сульфидных минералов, кинетика флотации сульфидных минералов), создания новых процессов, аппаратов и реагентов направленного действия.

5. Исследования по влиянию аэрации тонкоизмельченных минералов с использованием воздуха, выделяемого из раствора.

6. Изучение термодинамических закономерностей и разработка методов мониторинга флотационного процесса при переработке минерального сырья.

7. Создание информационной базы данных по новым флотационным технологиям, процессам, аппаратам и реагентам, обеспечивающим повышение технического уровня и эффективности, комплексной переработки минерального сырья при единовременном снижении затрат.

Дальнейшее развитие флотационного процесса вызвано все возрастающими потребностями народного хозяйства в как в металлах, так и в минеральном сырье, в то время как руды беднеют, а состав и строение их усложняется (возрастает доля труднообогатительных руд). Для получения высоких показателей обогащения, повышения комплексности использования сырья (труднообогатимых руд и техногенных месторождений, в том числе шламов, образующихся при обогащении руд, углей, отходов тепловых электростанций и шлаков металлургических предприятий) необходимо создание новых экологически безопасных реагентов, флотационных технологий и флотомашин.

Задание для самостоятельного решения:

*Задание.*

*Задача 1.* Золь ртути состоит из шариков диаметром  $6 \cdot 10^{-6}$  см. Чему равны: а) суммарная поверхность частиц; б) общее число частиц в растворе при дроблении 1 г ртути? Плотность ртути  $13,546 \text{ г/см}^3$ .

*Задача 2.* Во сколько раз возрастет поверхность частиц в результате дробления кубика серебра, длина ребра которого равна 0,5 см, до частиц кубической формы с ребром  $5 \cdot 10^{-6}$  см. Плотность серебра  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

*Задача 3.* Раствор коллоидной камфары содержит в  $1 \text{ см}^3$  200 млн шариков камфары диаметром около  $10^{-4}$  см. Подсчитать общую поверхность камфары в  $200 \text{ см}^3$  такого раствора.

*Задача 4.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Алтын-Топканского месторождения. Расход пульпы в основной флотации –  $13819 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Время флотации – 8 минут. Расход пульпы в перечистке  $2786 \text{ м}^3/\text{сут}$ .  
Время флотации – 8 минут.

*Задача 5* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Кургашинканского месторождения. Расход пульпы в основной флотации –  $12986 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 8 минут. Расход пульпы в контрольной флотации –  $16111 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 9 минут.

*Задача 6.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Алтын-Топканского месторождения. Расход пульпы в основной флотации –  $3451 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 7 минут. Расход пульпы в перечистке –  $2763 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 5 минут.

*Задача 7.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Сорского месторождения Расход пульпы в основной флотации –  $6758 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 6 минут. Расход пульпы в контрольной флотации –  $6673 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 5 минут.

*Задача 8.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Миргалимсайского месторождения. Расход пульпы в основной флотации –  $9068 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 9 минут. Расход пульпы в перечистке –  $3032 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 6 минут.

*Задача 9.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Учалинского месторождения. Расход пульпы в основной флотации –  $7509 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 8 минут Расход пульпы в контрольной флотации –  $5611 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Время флотации – 6 минут.

*Задача 10* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Гайского месторождения. Расход пульпы в основной флотации –  $12529$

м<sup>3</sup>/сут. Время флотации – 9 минут. Расход пульпы в перечистке – 2001 м<sup>3</sup>/сут.  
Время флотации – 6 минут.

*Задача 11.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Молодёжного месторождения. Расход пульпы в основной флотации – 11612 м<sup>3</sup>/сут. Время флотации – 8 минут. Расход пульпы в контрольной флотации – 21384 м<sup>3</sup>/сут. Время флотации – 7 минут.

*Задача 12.* Выбрать и рассчитать флотационные машины для обогащения руды Кургашинканского месторождения. Расход пульпы в основной флотации – 11312 м<sup>3</sup>/сут. Время флотации – 9 минут. Расход пульпы в перечистке – 1636 м<sup>3</sup>/сут. Время флотации – 7 минут.

***Рекомендуемая литература:***

- основная: [1-2];
- дополнительная: [3-8].

## ЛИТЕРАТУРА КО ВСЕМ ТЕМАМ

**Основная:**

1. Абрамов, А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.2. Технология переработки и обогащения полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учеб. - Электрон. дан. - Москва: Горная книга, 2004. - 510 с

<https://e.lanbook.com/book/3266>.

2. Абрамов, А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов: Учебное пособие в 2 кн. Т.3. Книга 2. Pb, Pb-Cu, Zn, Pb-Zn, Pb-Cu-Zn, Cu-Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg- содержащие руды [Электронный ресурс] : учеб. пособие - Электрон. дан. - Москва : Горная книга, 2005. — 470 с.

<https://e.lanbook.com/book/3268>.

**Дополнительная:**

3. Справочник по обогащению руд. Т. 1. Подготовительные процессы / Редкол.: Богданов О.С. (гл. ред.), Олевский В.А. (отв. ред.) и др. - М. : Недра, 1972. - 448 с.

4. Справочник по обогащению руд. Т. 1. Подготовительные процессы / Редкол.: Богданов О.С. (гл. ред.), Олевский В.А. (отв. ред.) и др. - М. : Недра, 1972. - 448 с.

<https://e.lanbook.com/book/47431>

5. Обогащение полезных ископаемых: учеб. пособие [Электронный ресурс]: / К.И. Лукина, В. П. Якушкин, А. Н. Муклакова. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 224 с. — (Высшее образование: Специалитет).

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=561064>

6. Александрова Т.Н. Обогащение полезных ископаемых. [Электронный ресурс]: учебник/ Кусков В.Б., Львов В.В., Николаева Н.В – Электрон. дан. РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Заказ 503. С 144 (ISBN 978-5-94211-731-3), 2015, 530 с.

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>)

7. Обогащение полезных ископаемых: учеб. пособие [Электронный ресурс]: / К.И. Лукина, В. П. Якушкин, А. Н. Муклакова. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 224 с. — (Высшее образование: Специалитет).

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=561064>

8. Александрова Т.Н. Обогащение полезных ископаемых. [Электронный ресурс]: Учебник/ Кусков В.Б., Львов В.В., Николаева Н.В – Электрон. дан. РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Заказ 503. С 144 (ISBN 978-5-94211-731-3), 2015, 530 с.

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>)

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	2
Тема 1. Основные факторы, определяющие результаты флотации.....	3
Тема 2. Свойства поверхности минералов. Способы улучшения состава жидкой фазы пульпы.....	5
Тема 3. Особенности флотации тонких классов и крупных частиц, основные пути повышения селективной флотации тонких шламов и флотационного извлечения крупных частиц. ....	8
ЛИТЕРАТУРА КО ВСЕМ ТЕМАМ .....	11