



# Физические методы исследования минерального сырья

Рудмин Максим Андреевич  
к.г.-м.н., доцент каф. ГРПИ

# Цели и задачи лабораторных методов исследования минерального сырья (мс)

## Цель

Решение проблемы рационального и комплексного их использования в промышленности и народном хозяйстве

## Задачи

Выяснение генетических вопросов  
Промышленная оценка месторождений  
Специальные прикладные и научные вопросы



# Классификация методов исследования

## **Физические**

- РФА
- Рентгенодифракционный (рентгеноструктурный) -РДА (РСА)
- ИСП-МС
- Атомно-эмиссионный - АЭС
- Атомно-абсорбционный - ААС
- Нейтронно-активационный (НАА)
- Электронно-зондовый (РМА)
- Электронная микроскопия (СЭМ, РЭМ)
- ИК-спектроскопия
- Ядерно-магнитный резонанс (ЯМР)
- Электронный парамагнитный резонанс - ЭПР
- Мёссбауэровская спектроскопия

## **Химические**

- «Мокрая химия»
- Пробирный
- Силикатный анализ
- Рациональный химический анализ (фазовый)

## **Физико-химические**

- Полярографический
- Термический
- Термобарогеохимия

## **Оптические**

- Петрографический
- Минераграфический
- Иммерсионный

# Стадии ГРР → методы исследования мс

**Стадия эксплуатационных работ**

Полный комплекс методов. Постоянный учет качества извлечения полезного компонента.

**Стадия разведочных работ**

Химический: «мокрая химия»  
Физический: нейтронно-активационный

**Стадия оценочных работ**

Химический: пробирный

**Стадия поисковых работ**

Физические: АЭС, ААС, ИСП-МС, РФА

**Стадия региональных работ (съёмка)**

Оптические: петрографический, минералогический, минераграфический;  
Химические: силикатный анализ;  
Физические и физико-химические: определение абсолютного возраста, ПКСА (КСА), ААС (Аи,ЭПГ)

# Пробы для лабораторных исследований

## **Химических концентратов**

Химический состав руды, содержание полезных компонентов

### Анализы:

спектральный химический

Вес пробы не более 1 кг, обычно 0,4-0,5 кг.

Размер материала 0,2-0,4 мм

## **Минералогические**

Качественная и количественная характеристика руды: текст.-структурные особенности, минеральные ассоциации, вторичные изменения, формы проявления ценных компонентов, распределение их по крупности (по классам)

### Анализы:

Оптические (минералогический петрографический, минераграфический)  
Вес пробы от 1 кг и выше.

Штуфы и пробы (м.б. групповые).

## **Технологические**

Технологические свойства ПИ, качественные и количественные показатели процесса обогащения руд и переработки концентратов

### Анализы:

Комплексные  
Вес пробы от сотни кг до 4-5т.

для полузаводского (полупромышленного) испытания составляет десятки (сотни) тонн.

## **Продукты обогащения и доводки**

Контроль процессов технологии и качества получаемых продуктов: *концентратов*, промежуточных продуктов (*промпродуктов*) и *хвостов*

(отвальных продуктов).

### Анализы:

Оптические, минералогический, физически, химические

## Минералогические и химические пробы



## Отбор литогеохимических проб



## Технологическая проба



Фото: Синкина Е.А.

## Исходный вес представительной пробы

Исходный вес пробы варьирует от сотен гр. до тысяч кг.  
Зависит от задачи и вещественного состава объекта опробования

В первую очередь вес зависит от максимального размера составляющих ее фрагментов и рассчитывается по формуле Г. О. Чечотта

$$Q=K \times d^2$$

где Q – исходный вес пробы (кг); d – диаметр наибольших частиц пробы (зерен минералов) (мм); K – коэффициент однородности пробы, зависящий от равномерности распределения полезного компонента в пробе.

<b>Краткая характеристика однородности проб</b>	<b>K</b>
Равномерное (руды черных металлов)	0,05
Неравномерные (разнообразное минеральное сырье и горные породы)	0,10
Весьма неравномерное (руды цветных металлов)	0,20...0,30
Крайне неравномерное (руды редких металлов)	0,4...0,5
Крайне неравномерные золотые руды с крупным (больше 0,6 мм) золотом	0,8...1,0

## Этапы изучения природных и техногенных образований

1. **четкая, конкретная** постановка задачи исследования;
2. выбор метода анализа или сочетания методов, выполняемых в определенной очередности;
3. тщательная подготовка проб в соответствии с требованиями выбранных методов;
4. проведение анализов;
5. интерпретация результатов и получение выводов с учетом ограничений возможностей методов

# Обогащение проб и выделение минеральных концентратов

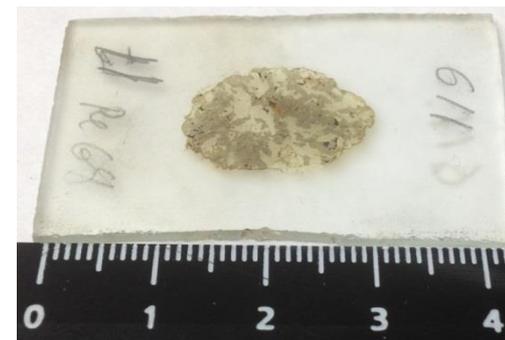
Первичная проба – штуф или рыхлая масса

Штуфные пробы в первую очередь изучают визуально.

В минералогических лабораториях проводят исследования в покрытых и прозрачно-полированных **шлифах** и **аншлифах** под микроскопом.



Петрографический кабинет каф.  
ГРПИ ТПУ  
Источник:  
<http://tpu.ru/f/1773/1404232.jpg>

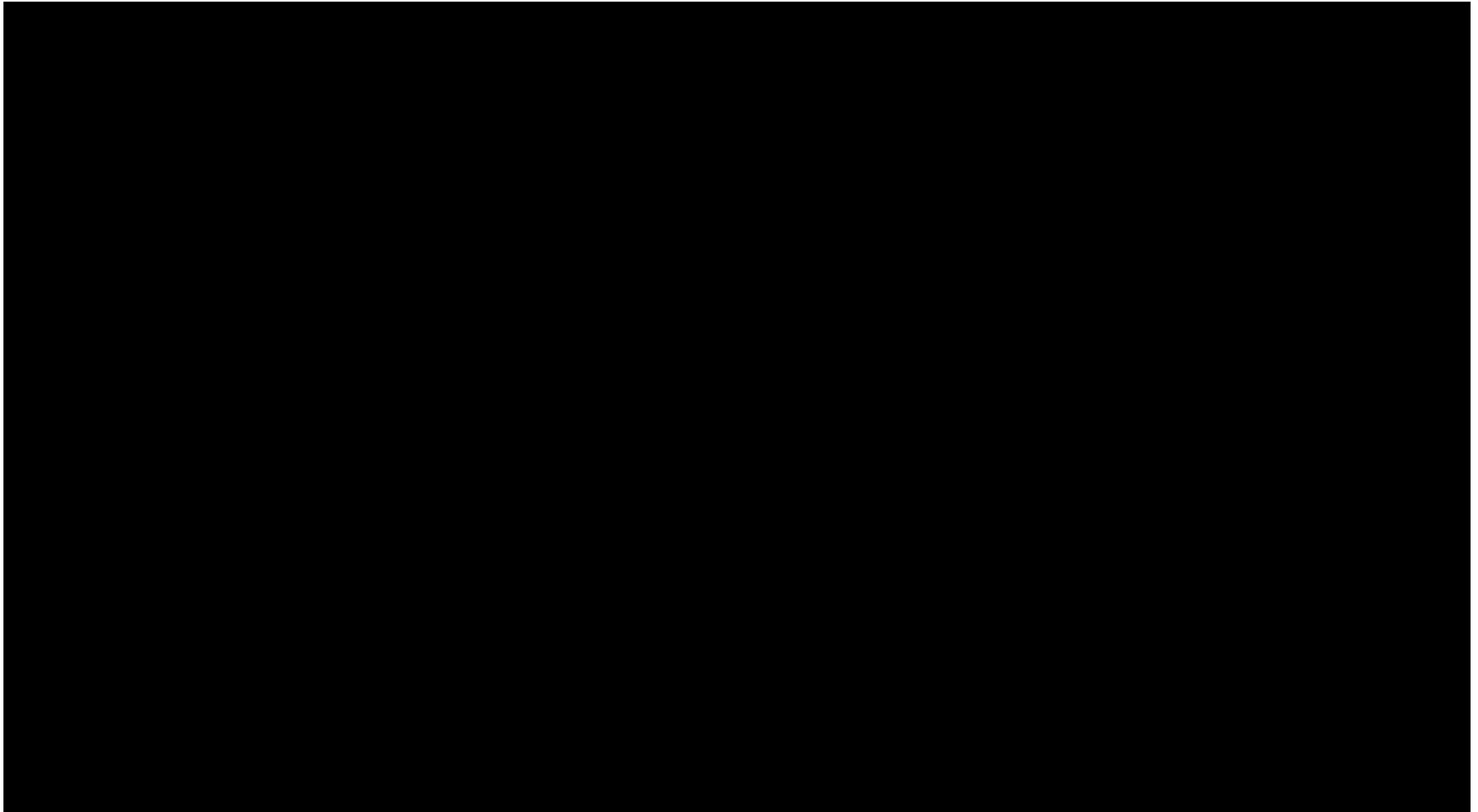


Фотография шлифа

Поляризационный микроскоп МП-201  
Источник:  
[http://www.akvilon.su/system/rich/rich\\_files/rich\\_files/000/002/249/original/mp201.gif](http://www.akvilon.su/system/rich/rich_files/rich_files/000/002/249/original/mp201.gif)

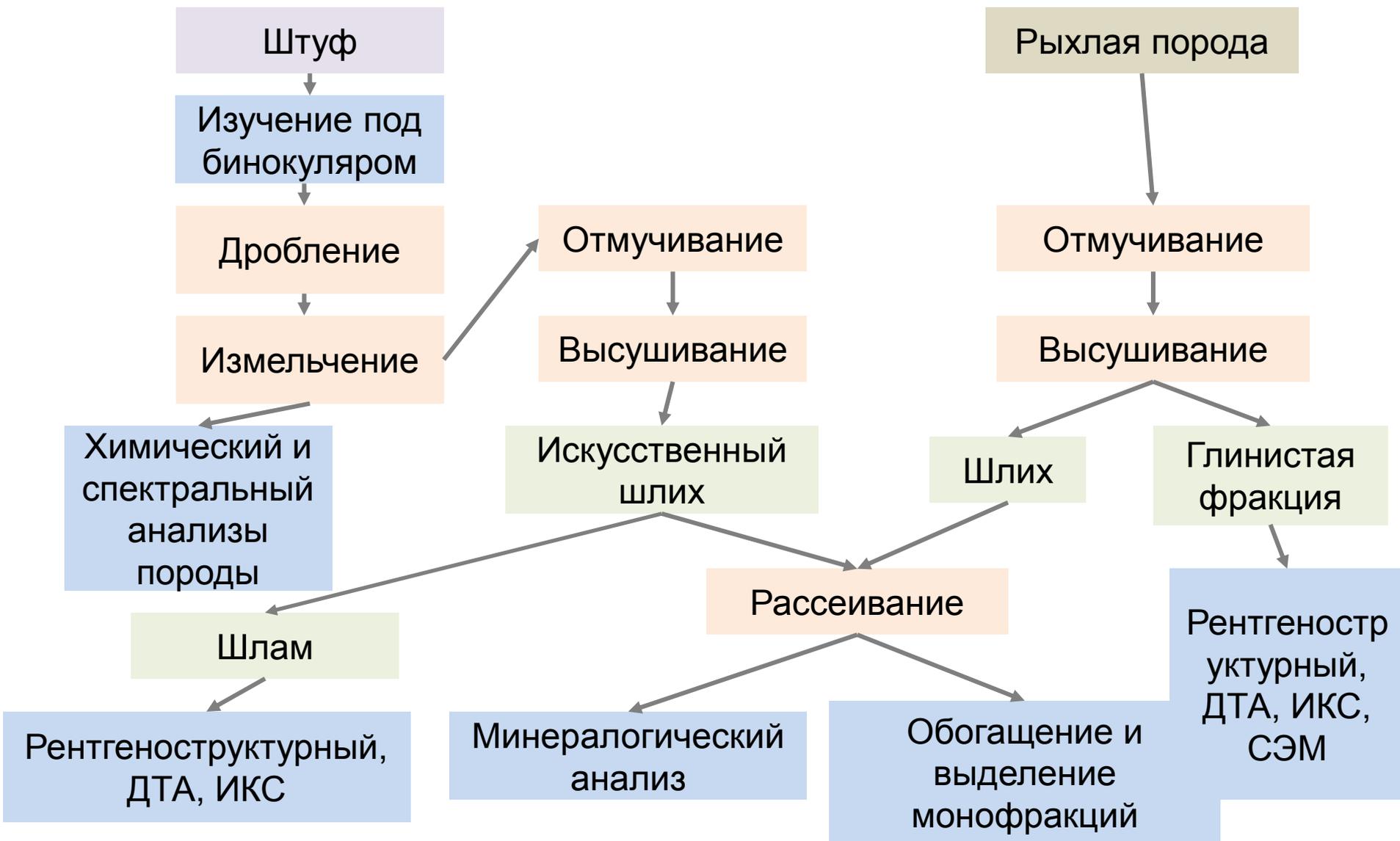
## Изготовление полированных шлифов

Видеоматериал «Изготовление шлифов» от компании Brot, производителя полного спектра оборудования и расходных материалов для изготовления геологических образцов



Источник: <https://youtu.be/0StQjcy1SEs>

# Схема подготовки проб



## Дробление, измельчение



Дробилка щековая ЛДЩ-60/100  
**Крупность исходного материала не более 50 мм**

Щековая дробилка выдает материал крупностью 2–15 мм и мельче. Поэтому пробу следует пропускать через дробилку многократно, постепенно уменьшая зазор щек до минимума, и просеивать после каждой операции.



Истиратель дисковый ИД-175  
**Крупность исходного материала не более 15 мм**

*Источник фотографии: Михайлов В.В., Гордиенко В.В. Простейшие ..., 2012*

После работы дискового истирателя получается материал размером до 0,1 мм и мельче. Пробу также необходимо просеивать, чтобы избежать ее перетирания.

# Квартование

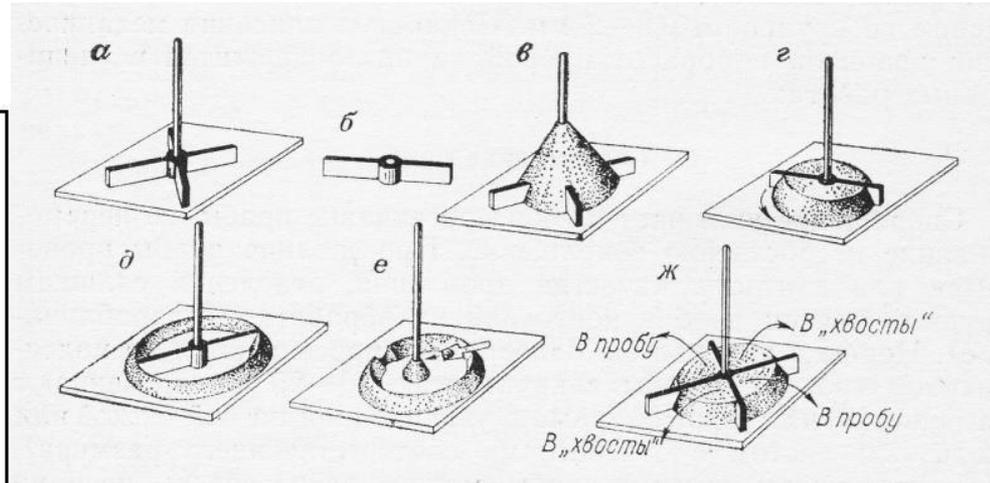
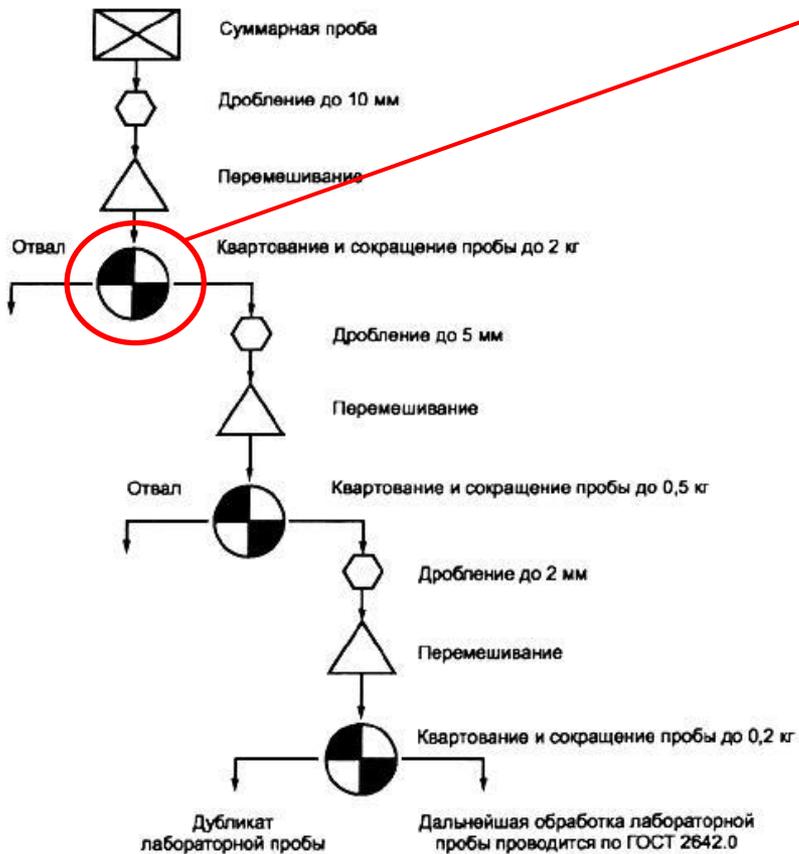
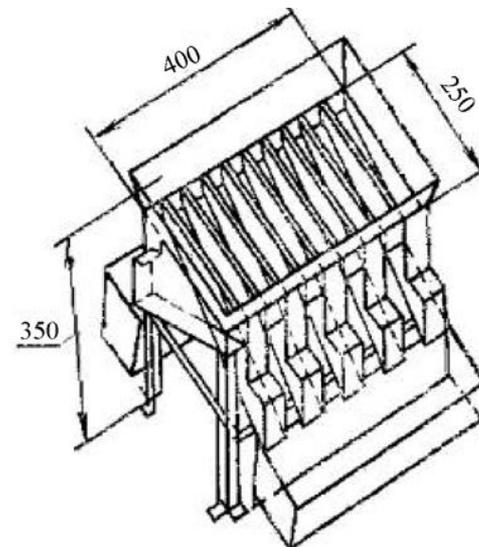


Схема квартования методом «кольца и конуса»  
 Источник: <http://ok-t.ru/studopediaru/baza14/1007865167747.files/image137.jpg>



## Делитель Джонса

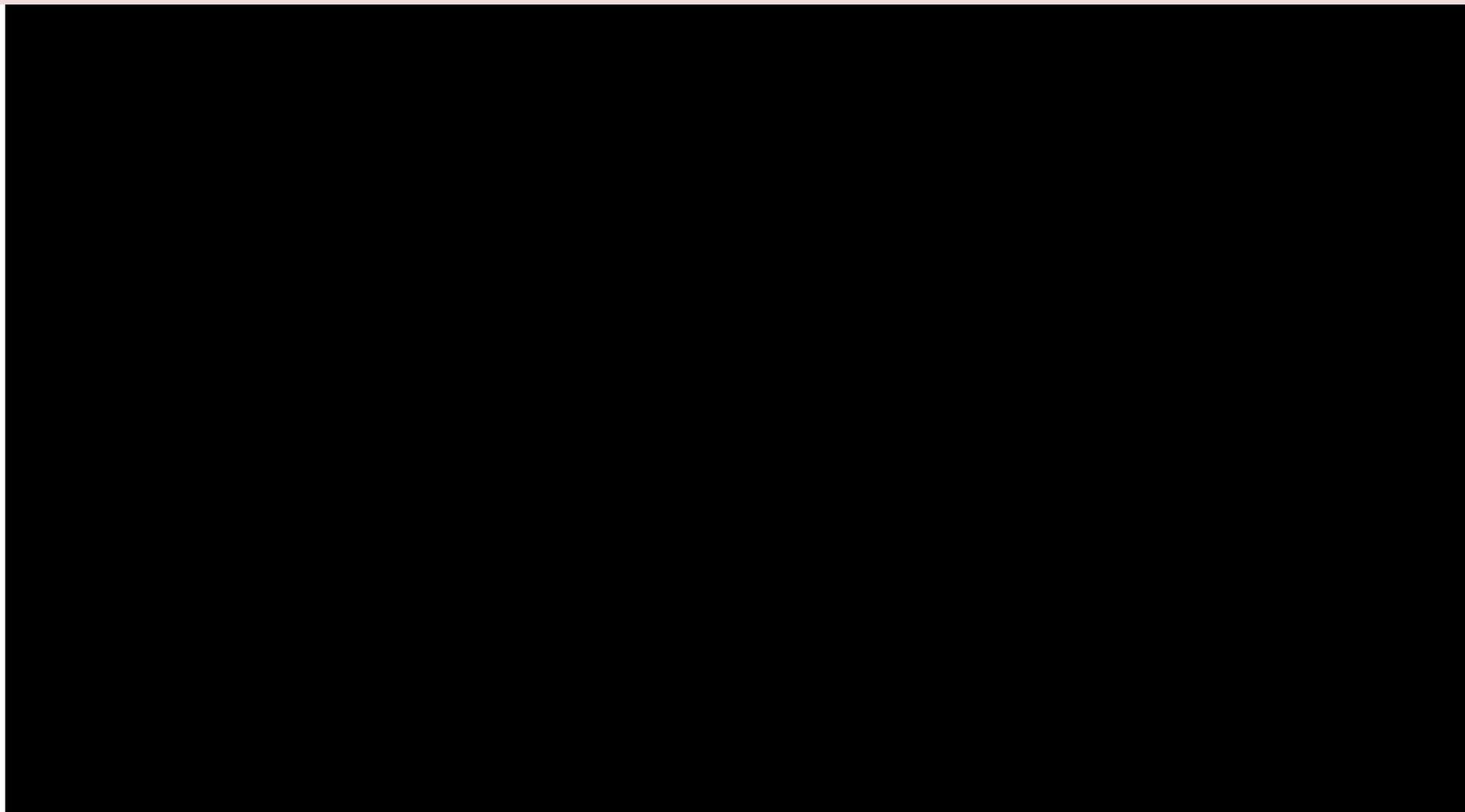
Источник:  
 Михайлов В.В.,  
 Гордиенко В.В.  
 Простейшие ...,  
 2012

Пример схемы обогащения

Источник: ГОСТ Р 52540-2006

[http://docs.cntd.ru/picture/get?id=P00E7&doc\\_id=1200044761&size=small](http://docs.cntd.ru/picture/get?id=P00E7&doc_id=1200044761&size=small)

Фрагмент документального фильма «Чукотское золото»



## Подготовка проб к выделению мономинеральных фракций

Просмотр шлифов, установление наличия тех или иных минералов, характер вкрапленности минералов и степень их взаимного срастания.

Определение схемы подготовки пробы к обогащению (в общих чертах).

Признаки **невозможности** выделения чистого минерала:

- эмульсионная вкрапленность минерала, исключающая его раскрытие в ходе дробления и измельчения;
- взаимное тонкое прораствание минералов, например сульфидов друг в друге (в этом случае речь может идти о получении коллективного сульфидного концентрата, а не отдельных минералов или же о применении избирательного растворения в кислотах или щелочах);
- широкое развитие вторичных процессов, изменивших первоначальный характер строения и состава минерала: выветрелость, глубоко прошедшее поверхностное окисление и т. д.

## Последовательность предварительной пробоподготовки

*А. определение минерального состава визуальным и микроскопическим наблюдением образцов;*

*В. дробление и измельчение пробы до максимальной крупности 0,5 и 0,25 мм с учетом свойств твердости, хрупкости и ковкости минералов;*

*С. расситовка пробы на отдельные фракции по крупности;*

*Д. просмотр под биноклем полученных фракций, точная диагностика минералов и выявление их характерных свойств, способствующих выделению в мономинеральные фракции;*

*Е. разработка схемы выделения минералов*

## Виды сепарации

Универсальной схемы обогащения не существует. Выбор схемы зависит от минерального состава горных пород и руд, особенностей состава и структуры минералов, состоянии поверхности их зёрен, трещиноватости, степени окисленности, размеров кусков и т.д.

**Гравитационная сепарация.** Разделение минералов по их плотности, размерам частиц и механическим свойствам. Разделение в тяжелых средах, отсадка, концентрация на сотрясательных столах, разделение на активных поверхностях и винтовых сепараторах.

**Магнитная сепарация.** Различные магнитные свойства минералов, т.е. их способность взаимодействовать с магнитным полем.

**Электрическая сепарация.** Различные электрические свойства минералов (электропроводность, диэлектрическая проницаемость).

**Флотация.** Это процесс обогащения тонкоизмельченного материала в водной среде. Основан на различиях физико-химических свойств поверхностей разделяемых минералов (главным образом смачиваемости водой) и взаимодействии зерен с находящимся в воде диспергированным воздухом.

# Магнитная сепарация

## Минералы:

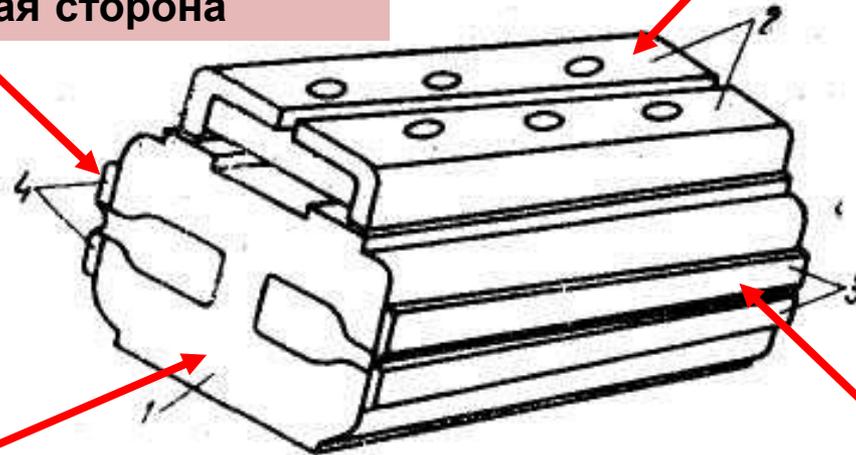
### немагнитные:

*касситерит, флюорит, барит, кварц, полевые шпаты, кальцит, циркон.*

### Очень слабомагнитная сторона

### сильномагнитные

(притягивающиеся обычным постоянным магнитом): *магнетит, пирротин*



*Ручной магнит А. Я. Соичева*

**среднемагнитные** (отделяющиеся на электромагните при небольшой силе тока): *ильменит, альмандин, хлорит, биотит, гиперстен, амфибол, диопсид, ксенотим*

**слабомагнитные** (отделяющиеся на электромагните при большой силе тока): *халькопирит, монацит, рутил, пирит (после прокаливания)*

# Магнитная сепарация

Изодинамический магнитный сепаратор СИМ-1. Предназначен для «тонкой» чистки



ЭМС ЭВС  
10/5

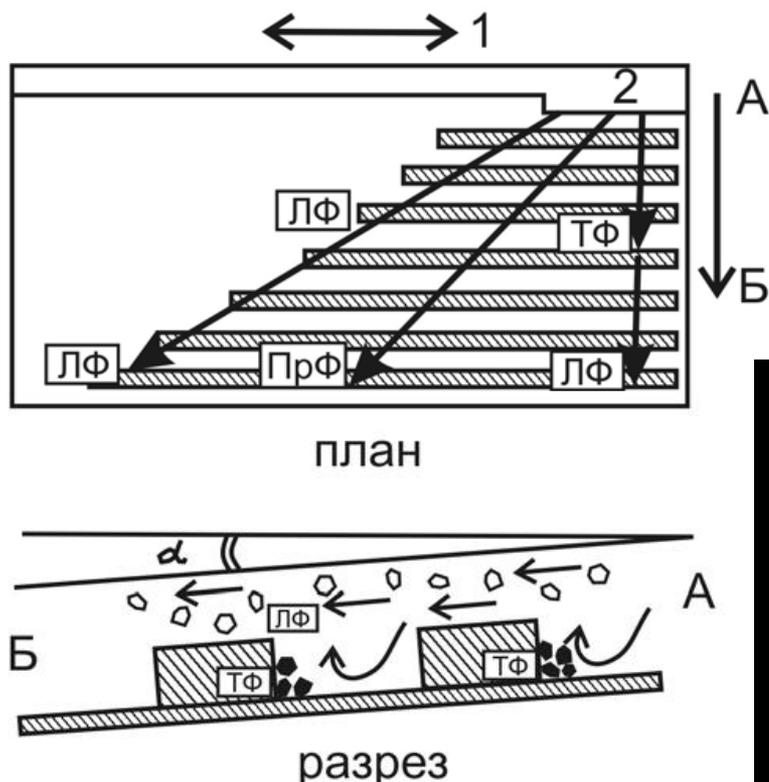


### **Жидкости:**

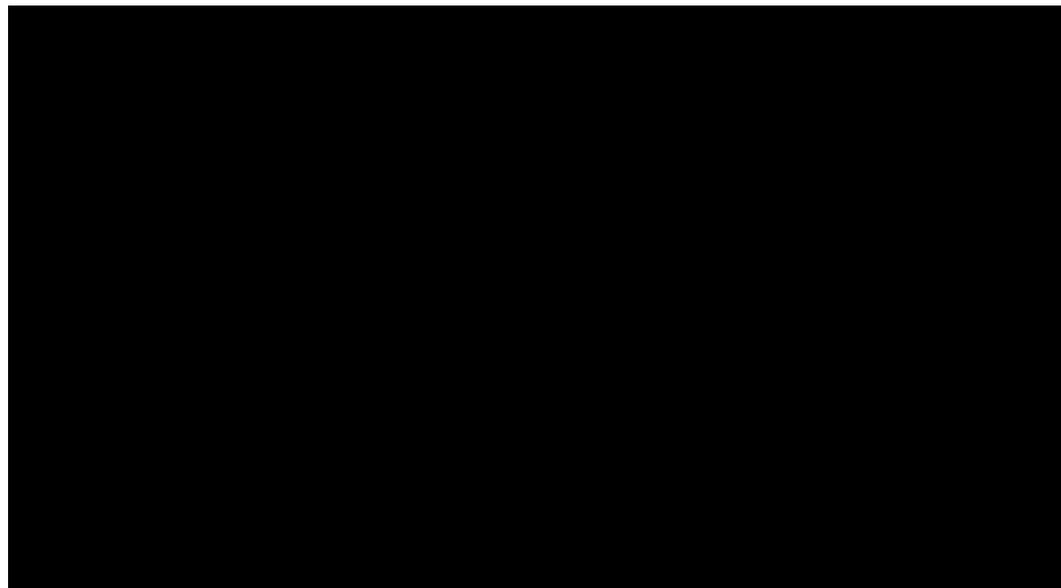
1. Бромформ  $\text{CHBr}_3$ , плотность 2,89, разбавляется спиртом.
2. Йодистый метилен  $\text{CH}_2\text{I}_2$ , плотность 3,32, разбавляется диметилформамидом.
3. Жидкость Клеричи – водный раствор малоновокислого таллия  $\text{CH}_2(\text{COOTl})_2$  и муравьинокислого таллия  $\text{HCOOTl}$ , плотность 4,25, разбавляется водой. Эта жидкость особенно ядовита и требует предельной осторожности.
4. Жидкость Туле (раствор  $\text{HgI}_2\text{-2KI}$ ), плотность 3,19, разбавляется водой.

# Разделение минералов на концентрационно-сотрясательных столах

## Схема работы сотрясательного стола



План: 1 – возвратно-поступательное движение деки, 2 – приемник пульпы, стрелки показывают движение пульпы по наклонной плоскости в направлении А–Б и сепарацию фракций: ТФ – тяжелой, ЛФ – легкой и ПрФ – промежуточной. Разрез А–Б: стрелки показывают движение пульпы: ЛФ – ламинарное с легкой фракцией; ТФ – турбулентное, между рифеями, где концентрируется тяжелая фракция;  $\alpha$  – угол наклона стола.



Источник схемы: Михайлов В.В.,  
Гордиенко В.В. Простейшие ..., 2012

Источник: <https://youtu.be/9hC0p7UbHxk>

## Пример работы концентрационно-сотрясательного стола



Shaker table J.Farmer Mining

Источник: <https://youtu.be/vZPuf-feiqc>

# Флотация

**Флотация (от англ. to float – плавать на поверхности)** – процесс, основанный на различии в смачиваемости поверхности разделяемых минералов водой, в котором плохо смачиваемые частицы рудного минерала (гидрофобные) прилипают к вводимым в пульпу пузырькам воздуха и поднимаются с ними на поверхность, образуя пену, а хорошо смачиваемые водой частицы (гидрофильные) остаются в объеме пульпы.

Флотация является основным методом, используемым при обогащении руд. В настоящее время более **95 % руд цветных и редких металлов** подвергается флотации.

## Минералы:

### **сильногидрофобные**

(расположенные ниже по убывающей гидрофобности):

*каменный уголь, сера, графит, молибденит, реальгит, висмут, тальк, слоистые силикаты с совершенной спайностью (слюды), алмаз*

### **слабогидрофобные,**

минералы-полупроводники с ковалентно-металлическими связями, преимущественно сульфиды: *энаргит –  $Cu_3(AsS_4)$ , халькозин –  $Cu_2S$ , кавелин –  $CuS$ , аргентит –  $Ag_2S$ , халькопирит –  $CuFeS_2$ , марказит и пирит –  $FeS_2$ , арсенопирит –  $FeAsS$ , пирротин, сфалерит, некоторые фосфаты (апатит и др.)*

### **гидрофильные –**

большинство минералов-диэлектриков с некомпенсированными на поверхности зерен ионными и ионно-ковалентными связями – *барит, кальцит, кварц, полевые шпаты, которые в рудах играют роль безрудных минералов, разубоживающих рудную массу*

«Технологическая схема переработки сульфидной и окисленной медной руды»

## Рентгенофлуоресцентный анализ



HORIBA XGT-7200

Источник: [http://tpu.ru/f/1773/rfmxgt-7200\(big\)\\_650x624.jpg](http://tpu.ru/f/1773/rfmxgt-7200(big)_650x624.jpg)



Innov X-50

Источник:

[http://tpu.ru/i/content/1773/12092116\\_650x554.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/12092116_650x554.jpg)

## Электронная микроскопия



TESCAN VEGA 3 SBU

Источник:

[http://tpu.ru/f/1773/img\\_0999\\_541x800.jpg](http://tpu.ru/f/1773/img_0999_541x800.jpg)

## Термобарогеохимия



Поляризационный микроскоп Axio Scope.A1 с термокамерой Lincam для изучения флюидных включений

Источник:

[http://tpu.ru/i/content/1773/12092105\\_650x476.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/12092105_650x476.jpg)

# Лабораторная база кафедры ГРПИ

## Минераграфический анализ



Микроскоп спектрофотометр МСФУ-К  
Источник:  
[http://tpu.ru/f/1773/pa230001\(big\)\\_488x650.jpg](http://tpu.ru/f/1773/pa230001(big)_488x650.jpg)



Микротвердомер ПМТ-3М  
Источник:  
[http://tpu.ru/i/content/1773/pa230002+\(big\)\\_476x650.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/pa230002+(big)_476x650.jpg)

## Инфракрасная спектроскопия



Спектрофотометр ИК-Фурье IR Prestige-21

Источник:

[http://tpu.ru/i/content/1773/12092108\\_650x392.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/12092108_650x392.jpg)

## Атомно-абсорбционный анализ



Комплекс атомно-абсорбционных спектрометров фирмы Varian

Источник:

[http://tpu.ru/f/1773/atomno\\_abs.\\_spektrometr\\_650x350.jpg](http://tpu.ru/f/1773/atomno_abs._spektrometr_650x350.jpg)

Спектрометр дуговой атомно-эмиссионный DEMO PRODIGY DC

[http://tpu.ru/f/1773/img\\_1588\\_800x658.jpg](http://tpu.ru/f/1773/img_1588_800x658.jpg)

## Атомно-эмиссионный анализ



# Лабораторная база кафедры ГРПИ

## Оборудование для пробоподготовки



Щековая дробилка «Rocklabs»

Источник:

[http://tpu.ru/i/content/1773/1558234\\_450x475.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/1558234_450x475.jpg)



Валковая дробилка

Источник:

[http://tpu.ru/i/content/1773/img\\_0979\(big\)\\_644x800.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/img_0979(big)_644x800.jpg)

Оборудование для пробоподготовки



Настольная кольцевая мельница  
Rocklabs LTD

Источник:  
[http://tpu.ru/i/content/1773/img\\_0983\(big\)\\_534x800.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/img_0983(big)_534x800.jpg)



Вибрационный измельчитель

Источник:  
[http://tpu.ru/i/content/1773/img\\_0982\(big\)\\_650x793.jpg](http://tpu.ru/i/content/1773/img_0982(big)_650x793.jpg)

# Лабораторная база кафедры ГРПИ

## Как найти информацию?

Зайти на сайт кафедры через сайт [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)

English version  
Версия для слабовидящих

ТОМСК POLYTECHNIC UNIVERSITY | ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПОИСК

О ТПУ | ОБРАЗОВАНИЕ | НАУКА И ИННОВАЦИИ | МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО | ЖИЗНЬ В ТПУ

СОДЕРЖАНИЕ

- > Институты, кафедры
- > Административные подразделения
- > Научные лаборатории и центры ТПУ
- > Контакты сотрудников
- > Персональные сайты преподавателей

Главная · Структура ТПУ

### Структура ТПУ

Учебные подразделения [Развернуть все](#)

Институт природных ресурсов (ИПР)

[На страницу подразделения](#)

- Отделы ИПР
- Кафедра геологии и разработки нефтяных месторождений (ГРНИ)
- Кафедра транспорта и хранения нефти и газа (ТХНГ)
- Кафедра бурения скважин (БС)
- Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии (ГИЭ)
- Кафедра геофизики (ГЕОФ)
- Кафедра геологии и разведки полезных ископаемых (ГРПИ)
- Кафедра геоэкологии и геохимии (ГЭГХ)
- Кафедра экономики природных ресурсов (ЭПР)
- Кафедра общей геологии и землеустройства (ОГЗ)
- Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики (ХТТ)
- Кафедра физической и аналитической химии (ФАХ)
- Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов (ТОВПМ)
- Кафедра иностранных языков института природных ресурсов (ИЯИПР)
- Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела
- Лаборатории и центры ИПР

Институт физики высоких технологий (ИФВТ) ▼

Институт кибернетики (ИК) ▼

Физико-технический институт (ФТИ) ▼

Институт неразрушающего контроля (ИНК) ▼

## Вкладка «лабораторная база»

English version  
Версия для слабовидящих

ТОМСК POLYTECHNIC UNIVERSITY | ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПОИСК

О ТПУ | ОБРАЗОВАНИЕ | НАУКА И ИННОВАЦИИ | МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО | ЖИЗНЬ В ТПУ

СОДЕРЖАНИЕ

- > История кафедры геологии и разведки полезных ископаемых
- > Учебно-методическая работа
- > Научная деятельность
- > Дополнительные образовательные услуги
- > Лабораторная база**
- > Студентам

Главная · О ТПУ · Структура университета · Институты, кафедры · Институт природных ресурсов (ИПР) · Кафедра геологии и разведки полезных ископаемых (ГРПИ)

### Кафедра геологии и разведки полезных ископаемых (ГРПИ)

 **Гаврилов Роман Юрьевич**  
Заведующий кафедрой, кандидат геолого-минералогических наук  
ул. Советская, 73, корпус 1, офис 219  
(38-22) 60-62-18, Вн. 1304  
[gavrilyov@tpu.ru](mailto:gavrilyov@tpu.ru)

**Кафедра ведет набор**

Дипломированных специалистов по специальности:

**21.05.02 Прикладная геология** (формы обучения: очная, заочная)

**Специализации:**

- > Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых
- > Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания
- > Геология нефти и газа

В 2014 году Инженерный совет ABET (Accreditation Board of Engineering and Technology) аккредитовал программу вуза «Прикладная геология» со специализацией «Геология нефти и газа».

**КАФЕДРА ГЕОЛОГИИ И РАЗВЕДКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (ГРПИ)**

КОНТАКТЫ:

- 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ, ИПР, ГРПИ
- ул. Советская 73, корпус 1, офис 218, 219, 117
- (38-22) 42-11-00
- (38-22) 60-62-13
- 60-62-18
- [gavrilyov@tpu.ru](mailto:gavrilyov@tpu.ru)
- [Lea@tpu.ru](mailto:Lea@tpu.ru)

**Нагрузка 2014-2015** (25.06.14)

## Литература

1. Михайлов В.В. , Гордиенко В.В. Простейшие лабораторные методы выделения мономинеральных фракций: учеб.-метод. пособие / В. В. Михайлов, В. В. Гордиенко. – СПб.: С.-Петербур. гос. ун-т, 2012. – 48 с.
2. Гурвич М.Ю. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд (учебное пособие). – М.: РГГРУ. – 2009. – 143 с.
3. Изюитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб.: Наука, 1997. – 577 с.

## Интернет-ресурсы:

4. <http://www.youtube.com/>
5. <http://tpu.ru/>

Благодарю за внимание