



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГДиТ
И.А. Пыталев

07.02.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ

Научная специальность
2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт горного дела и транспорта
Кафедра	Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых
Курс	2
Семестр	4

Магнитогорск
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГТ (приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых

27.02.2025, протокол № 5

Зав. кафедрой  И.А. Гришин

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИГДиТ

07.02.2025 г. протокол № 3

Председатель  И.А. Пыталев

Рабочая программа составлена:

профессор кафедры ГМДиОПИ, докт. техн. наук



Н.Н. Орехова

Рецензент:

профессор кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» ,

докт. техн. наук



А.Е. Пелевин

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Геологии, маркшейдерского дела и обогащения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ И.А. Гришин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Геологии, маркшейдерского дела и обогащения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ И.А. Гришин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Геологии, маркшейдерского дела и обогащения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ И.А. Гришин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Геологии, маркшейдерского дела и обогащения

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ И.А. Гришин

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

являются:

— изучение основ и методов поэтапных теоретических и экспериментальных исследований для решения фундаментальных и прикладных задач в области обогащения полезных ископаемых;

— ознакомление с методиками определения характеристик и параметров минерального сырья и обогатительных сред, поиска оптимальных параметров процессов, изучения механизмов действия реагентов.

2 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Исследование процессов и технологий обогащения» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

КНС-1	Способен видеть и устанавливать актуальность проблемы; имеет оригинальное, независимое и критическое мышление; способен развивать теоретические идеи, выбирать на основе знаний научных достижений в области обогащения полезных ископаемых и смежных областях адекватную методологию и исследовательские техники
КНС-2	Способен разрабатывать технологии и аппараты физико-механической, физико-химической, химической, биохимической, химико-металлургической переработки и обогащения полезных ископаемых; имеет навыки технолого-минералогической оценки исследуемых объектов
КНС-3	Владеет навыками сбора, обработки и анализа информации с применением современной вычислительной техники и программного обеспечения, российских и зарубежных баз данных; способен моделировать физические и химические процессы переработки полезных ископаемых и техногенного сырья, знает методы оптимизации проектных решений обогатительных фабрик
КНС-4	Способен руководить исследовательской группой, разрабатывать методики проведения экспериментов, проводить эксперимент, обрабатывать результаты эксперимента, умеет составлять отчетную документацию и представлять полученные результаты представителям производства и международному научному сообществу

3. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 51 акад. часов;
- аудиторная – 51 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов;
- самостоятельная работа – 21 акад. часов;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)		Самостоятельная работа студента	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Лек.	практ. зан.		
1. Введение					
1.1 Основные направления исследований в области обогащения полезных ископаемых	4	2		2	—устный опрос
Итого по разделу	2			2	
2. Изучение характеристик руды					
2.1 Отбор и подготовка проб. Изучение особенностей структуры и вещественного состава исходного сырья современными методами анализа. Области применения методов, аппаратурное оформление. Обработка результатов.	4	2	4	4	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Практическая работа №1 Оформление конспекта.
Итого по разделу	2		4	4	
3. Электрофизикохимические свойства минералов и сред					
3.1 Определение электрохимических и электрофизических свойств минералов. Измерение дифференциальной емкости двойного электрического слоя.	4	2	2	2	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Проверка домашнего задания. Практическая работа №2 Оформление конспекта .
Итого по разделу	2		2	2	
4. Исследования межфазной границы жидкость-газ					
4.1 Классические методы исследования взаимодействия реагентов с межфазной поверхностью жидкость-газ.	4	2	2	4	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Практическая работа №3 Оформление конспекта. Проверка домашнего задания.
Итого по разделу	2		2	4	
5. Исследования межфазной границы твердое -жидкость					
5.1 Изучение состава поверхностных слоев и определение влияния адсорбции реагентов на границе раздела фаз.	4	2	2	2	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Проверка домашнего задания. Практическая работа №4 Оформление конспекта.
Итого по разделу	2		2	2	
6. Исследования модифицированной поверхности минералов					
6.1 Исследование поверхностных свойств минералов методами ЯМР, ЭПР, УФ и ИК спектроскопии. Влияние поверхности на спектры адсорбированных молекул .	4	2	2	1	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Проверка домашнего задания.
Итого по разделу	2		2	1	
7. Термодинамические методы исследования					
7.1 Расчеты состояния реагентов в пульпе и на минеральной поверхности. Программные комплексы моделирования	4	2	4	2	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Проверка домашнего задания.
Итого по разделу	2		4	2	
8. Исследования характеристик обогатительных аппаратов					
8.1 Электрические, магнитные, гидродинамические, аэрационные характеристики сепараторов.	4	2	4	2	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОП-РОС. Проверка домашнего задания.
Итого по разделу	2		4	2	
9. Планирование эксперимента					
9.1 Составление плана и реализация эксперимента, обработка и анализ экспериментальных данных, представление результатов и подготовка отчёта.	4	1	14	2	Работа с литературой. УСТНЫЙ ОПРОС. Проверка домашнего задания. Практическая работа №6 Оформление конспекта..
Итого по разделу	1		14	2	
Итого за семестр	17		34	21	зачёт
Итого по дисциплине	17		34	21	зачет

4 Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

Представлены в приложении 1.

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) а) Основная литература:

1. Исследования полезных ископаемых на обогатимость : [учеб. пособие] / В. Г. Самойлик. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – 190 с.
<file:///C:/Users/User/Documents/Читаемые%20курсы/ИРнаО/2018%20г.%20%20issledovaniya-poleznyh-iskopaemyh-na-obogatimost.pdf>

2. Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых : учебник : в 2 томах / В.М. Авдохин. — 4-е изд., стер. — Москва : Горная книга, [б. г.]. — Том 2 : Технологии обогащения полезных ископаемых — 2017. — 312 с. — ISBN 978-5-98672-465-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/111337>

3. Федотов, К. В. Проектирование обогатительных фабрик : учебник / К. В. Федотов, Н. И. Никольская ; ред. совет : Л. А. Пучков (пред.) и др. - М. : Горная книга, 2012. - 534 с. : ил., схемы, табл. - (Обогащение полезных ископаемых). - ISBN 978-5-98672-282-5. (Библиотека МГТУ 622.7 Ф 342)

б) Дополнительная литература:

1. Козин В.З. Исследование руд на обогатимость. Уч. пособие. Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд.-во УГГУ, 2008

2. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. М.: Недра, 1974. - 352 с.

3. Техническая оценка минерального сырья. Опробование месторождений. Характеристика сырья: Справочник /под ред. П.Е. Остапенко. М.: Недра, 1990. -272 с.

4. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник / Под. Ред. П.Е. Остапенко. М.: Недра, 1991. 280 с.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<file:///C:/Users/User/Documents/Читаемые%20курсы/ИРнаО/2018%20г.%20%2020issledovaniya-poleznyh-iskopaemyh-na-obogatimost.pdf> Исследования полезных ископаемых на обогатимость : [учеб. пособие] / В. Г. Самойлик. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – 190 с

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/MP0109/Web
Российская Государственная библиотека. Каталоги	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Внеаудиторная работа предполагает работа с литературой, подготовку конспекта практической работы, выполнение домашних заданий.

Примеры задач для самостоятельного выполнения

Задача 1 Составить план - матрицу полного факторного эксперимента типа 2^3 с целью оптимизации реагентного режима основной флотации медной сульфидной руды

Исходная информация

Цель эксперимента: $\varepsilon_{\text{кт}}^{\text{Cu}}$ (извлечение меди в черновой концентрат) $\rightarrow$ макс при $+1 \geq X_j \geq -1$.

В качестве факторов эксперимента приняты:

x_1 – расход собирателя, г/т;

x_2 - расход пенообразователя, г/т;

x_3 - расход активатора, г/т.

Предполагаемые наилучшие значения факторов эксперимента, то есть нулевые уровни,

таковы:

$$x_{10} = 50 \text{ г/т},$$

$$x_{20} = 70 \text{ г/т},$$

$$x_{30} = 10 \text{ г/т}.$$

Выбраны следующие шаги варьирования факторов:

$$\Delta x_1 = 10 \text{ г/т}; \quad \Delta x_2 = 5 \text{ г/т}; \quad \Delta x_3 = 5 \text{ г/т}.$$

Задача 2 В табл.1 приведен гранулометрический состав измельченных продуктов при различной продолжительности измельчения для аналоговой (I) и исследуемой (II) полиметаллической руды. Аналоговая и исследуемая руды имеют насыпную плотность 2,15 и 1,85 т/м³ соответственно. Измельчение навесок руды выполнялось в лабораторной шаровой мельнице МШМ-100.

2.3.1. Рассчитайте коэффициент измельчаемости руды II при измельчении в одну стадию от содержания 20 % класса -0,074+0 мм до 70 %.

Таблица 1

Гранулометрический состав аналоговой (I) и исследуемой (II) полиметаллической руды в зависимости от продолжительности измельчения

Продолжительность измельчения, мин	Выход классов, %, различной крупности, мм				
	0.3-0	0.21-0	0.15-0	0.10-0	0.074-0
Руда I					
Исходная	46,76	35,64	23,97	22,34	18,00
20	70,80	59,40	39,30	32,60	26,00
30	93,10	81,40	52,80	44,40	37,10
40	98,80	97,40	67,10	55,50	45,00

50	99,90	99,50	91,10	72,80	57,10
60	99,97	99,90	97,90	90,90	67,80
70	99,97	99,90	98,70	96,90	78,60
80	99,97	99,95	99,80	98,85	87,58
Руда II					
Исходная	35,56	30,64	20,27	18,84	15,40
20	57,90	49,10	32,00	25,90	20,50
30	78,20	64,00	41,10	34,00	28,00
40	97,00	88,90	55,10	45,00	34,80
50	99,60	98,20	70,80	56,90	44,40
60	99,90	99,60	89,30	69,80	51,90
70	99,94	99,87	96,25	85,40	62,10
80	99,95	99,90	98,80	95,40	75,30

Задача 3 Навески свинцово-цинковой руды разрабатываемого (I) и вовлекаемого в переработку (II) месторождений, имеющие насыпную плотность (т/м^3) 1,90 и 2,10, измельчались при различной продолжительности измельчения в лабораторной шаровой мельнице МШМ-100. В измельченных продуктах контролировали содержание класса -0,074+0 мм (табл.3).

Таблица 2.

Выход, %, класса -0,074+0 мм в аналоговой (I) и исследуемой (II) руде в зависимости от продолжительности измельчения

Руда	Продолжительность измельчения, мин						
	0	5	10	15	20	25	30
I	11,0	26,0	38,5	50,5	60,0	68,3	75,5
II	17,0	38,0	52,0	62,8	73,0	81,5	87,2

Определите продолжительность измельчения исходной руды для получения измельченного продукта, содержащего 77 % расчетного класса крупности.

Определите, пригодно ли уравнение Товарова для описания кинетики измельчения шеелитовой руды по расчетному классу крупности -0,08+0 мм при $k=0,106/(5 \cdot 0,4343)=0,0488 \text{ мин}^{-1}$ если

Продолжительность

измельчения, мин 0 5 10 15 20 30 40

Выход, %, класса

-0,08+0 мм 8,9 45,0 61,3 70,3 78,6 87,5 90,9

Задача 4 Выполнен ситовый анализ минерального сырья. Определите гранулометрический состав и распределение полезных компонентов по классам крупности. Постройте гистограмму гранулометрического состава минерального сырья.

Таблица 3

Класс крупности, мм	Выход, г	Содержание Fe_2O_3 , %	Выход, г	Содержание Fe_2O_3 , %
Проба 1			Проба 2	
-1 +0,8	31,24	0,25	30,64	0,20
-0,8 +0,5	52,30	0,25	53,40	0,15
-0,5 +0,25	58,72	0,23	57,38	0,18
-0,25 +0,15	24,40	0,23	26,26	0,16
-0,15 +0,10	10,60	0,35	8,86	0,24
-0,10 +0	22,74	0,82	23,46	0,52

--	--	--	--	--

Задача 5 Составить схему подготовки к лабораторным испытаниям пробы магнетитовой руды (масса - 800 кг; максимальная крупность материала -60 мм). Планируемые исследования: сухая магнитная сепарация материала крупностью -20 мм; мокрая магнитная сепарация руды крупностью -2,5 мм; флотационные испытания; изучение вещественного состава. Железные минералы склонны к переизмельчению.

Задача 6 Составить схему подготовки к лабораторным исследованиям пробы медно-никелевой вкрапленной руды (масса - 800 кг, максимальная крупность -40 мм). Планируемые испытания: гравитационный анализ руды крупностью -10 мм, -6 мм и -3 мм; мокрая магнитная сепарация материала крупностью -3 мм; флотационные испытания; изучение вещественного состава.

Задача 7 Рассчитать массу навески «чистого» минерала для флотационных опытов в трубке Галлимонта (рабочий объём 250 см^3), если его содержание в руде составляет 2,3 %. Отношение Ж:Т в операции основной флотации = 2,7:1, плотность руды - $3,4 \text{ г/см}^3$.

Задача 8 Рассчитать значения адсорбции бутилового ксантогената калия на борните. Масса навески 20 грамм, Ж:Т = 10 : 1 Результаты эксперимента приведены в таблице

Ном ер опыта	Исходные значения в растворе			Остаточные значения в растворе		Поглощено минералом	
	Концентрация	Масса реагента		Концентрация	Масса реагента	Масса реагента	
	Мг/дм^3	Общая , г	Удельная , г/г	Мг/дм^3	Общая, г	Общая , г	Удельная , г/г
1	15			10			
2	30			17			
3	50			24			
4	75			32			
5	100			45			

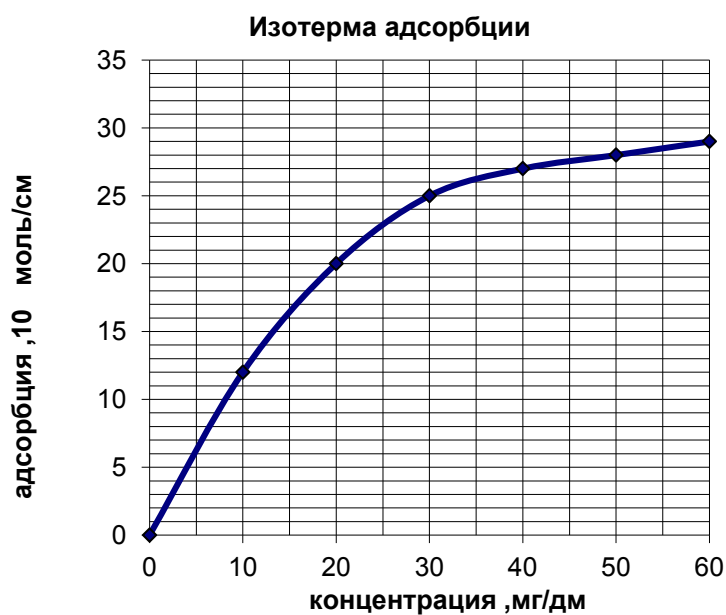
Построить изотерму адсорбции.

Задача 9 Определить степень покрытия пирита амиловым ксантогенатом калия, если величина адсорбции составляет $0,005 \text{ мкг/см}^2$, а посадочная площадь молекулы 28 квадратных ангстрем.

Задача 10 Как соотносится адсорбция, выраженная в моль/ м^2 и моль/кг на порошке с диаметром частицы 70 мкм и плотностью $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$? Перевести значение адсорбции, выраженное в мг/см^2 в моль/ см^2 : $A_{\text{пропилового ксантогената}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^2$
 $A_{\text{сернистого натрия}} = 0,032 \text{ мкг/см}^2$

Задача 11 В раствор ксантогената $C = 100 \text{ мг/л}$ ввели 10 мг ксантогената меченого ^{35}S с удельной активностью 19000имп/(мин*г). После пяти минутного контакта с минеральной навеской активность отфильтрованного раствора составила 80 имп/мин. Определить массу адсорбировавшегося на минерале ксантогената.

Задача 12 Определить вид уравнения изотермы адсорбции, рассчитать коэффициенты в уравнении. Результаты адсорбции приведены в графическом виде.



Задача 13 Привести данные шламового анализа к ситовому. Определить массовую долю ценного компонента в исходной навеске. Результаты ситового и шламового анализов приведены в таблице.

Класс	выход		Массовая доля Ц.К.	Распределение Ц.К.	Класс	выход		Массовая доля Ц.К.	Распределение Ц.К.
мм	Г	%	%	%	мкм	Г	%	%	%
5-3	350		11,2		100-74	20		15,5	
3-2	540		12,0		74-50	38		16,0	
2-1,6	760		12,5		50-30	21		18,0	
1,6-1	400		12,7		30-15	16		17,5	
1-0,5	200		13,4		15-0	25		16,3	
0,5-0,1	180		15,0		итого				
0,1-0	170		?						
итого									

Задача 14 Чему равен электрокинетический потенциал при протекании 0.01 М раствора KCl через минеральную диафрагму под избыточным давлением $3,1 \cdot 10^4$ Па и потенциале протекания $1,2 \cdot 10^{-2}$ В? При 298К вязкость раствора $8,94 \cdot 10^{-4}$ Па*с, удельная электропроводность $0,141$ См*м⁻¹, относительная диэлектрическая проницаемость 78,5.

Задача 15 Описать последовательность обработки изображения лежащей капли на подложке, для определения статического поверхностного натяжения по методу Башфорта – Адамса. Сделать необходимые построения на рисунке.

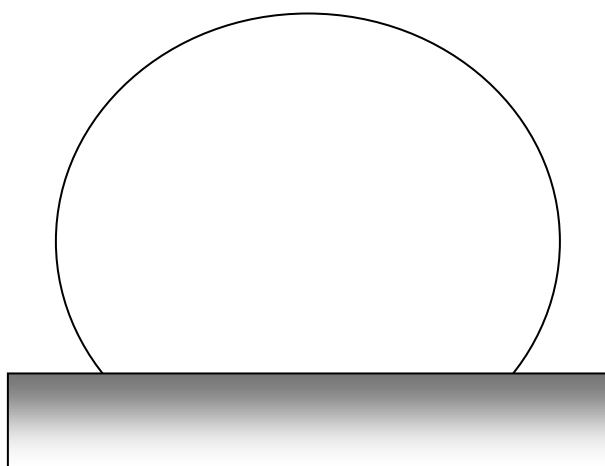
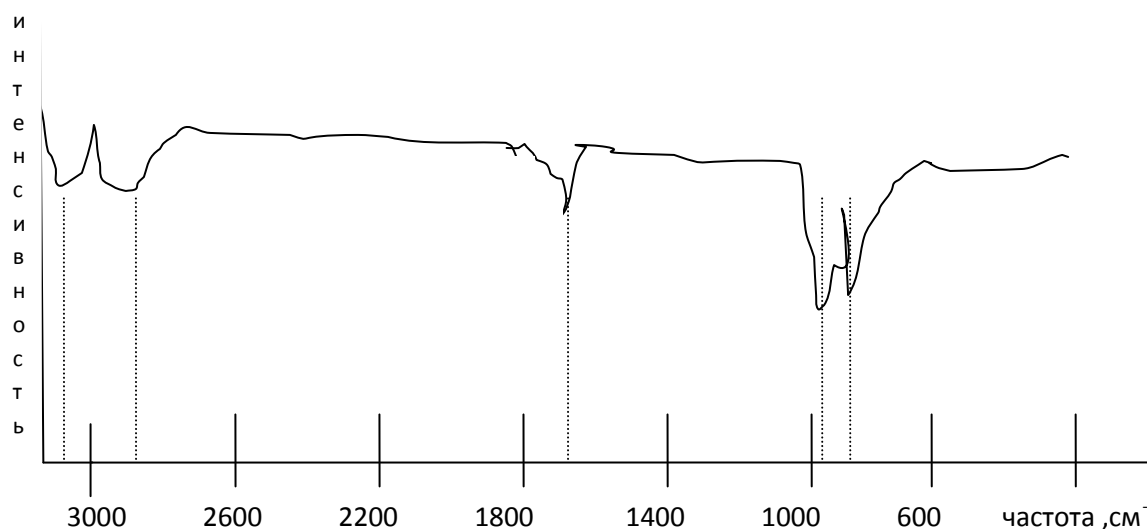


рис. Абрис лежащей капли.

Задача 16 С использованием справочника расшифровать инфракрасный спектр органического вещества, сделать предположения относительно класса органических соединений, к которому оно относится.



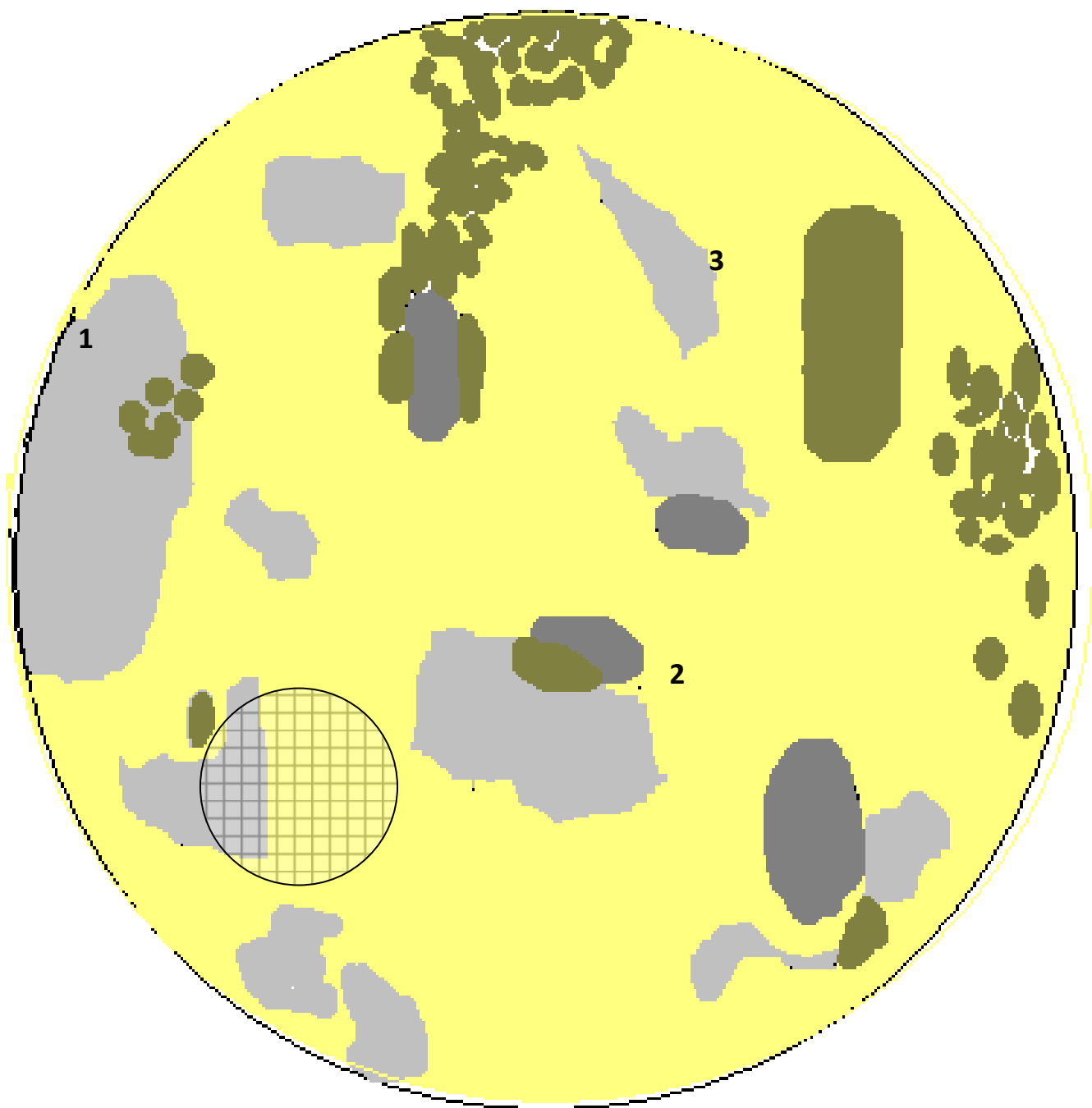
Задача 17 Для определения марганца в навеске руды построили градуировочный график по следующим данным:

Концентрация стандартного раствора $Mn \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$	5	10	15	20	25
Оптическая плотность, доли ед.	0,145	0,29	0,435	0,58	0,725

Навеску руды массой 1,5г растворили в смеси кислот и перенесли в мерную колбу вместимостью 250 мл, полученный раствор разбавили в 10 раз и измерили оптическую плотность, которая составила : 0,228 ; 0,256; 0,199 ; 0,238. Определить массовую долю марганца в пробе.

Задача 18 Планиметрическим методом определить содержание минералов в шлифе:

1. Светло-серый – арсенолит As_2O_3 ;
2. Тёмно-серый – теллурид TeO_2 ;
3. Зелёный - хризоколла; Вмещающая порода – мусковит.



Задача 19 Рассчитать необходимую массу навески и процентную концентрацию растворов реагентов для подачи во флотационный опыт, если принятый объём флотокамеры $0,5 \text{ дм}^3$, содержание твёрдого в пульпе -32%, расход активатора – 250г/т , собирателя 75 г/т.

Задача 20 Ориентировочно определить удельную площадь поверхности минеральных частиц в мономинеральной навеске крупностью -200+160 мкм. Плотность минерала $5,0 \text{ г/см}^3$

Задача 21. Рассчитайте показатель контрастности руды по ее фракционному составу. Определите категорию руды по контрастности и сделайте вывод о целесообразности предобогащения исследуемой руды.

1.	Номер фракции	Содержание ц.к., %			Выход, %
		от	до	$\beta_{\text{ф}}$	$\gamma_{\text{ф}}$
	1	0,0	0,1	0,06	5

	2	0,11	0,2	0,14	10
	3	0,21	0,4	0,32	12
	4	0,41	0,8	0,61	24
	5	0,81	2,0	1,30	32
	6	2,01	5,0	3,40	10
	7	5,01	100,0	7,50	7

Задача 22. Определите значение электродного потенциала магнетита в растворе хлорида калия относительно платинового электрода ($\phi_{пл} = 0$), если значение потенциала измеренное относительно хлорсеребряного электрода ($\phi_{хл/с} = 220$ мв) составило -175 мв.

5. Вопросы к зачету

1. Объекты технологического опробования и испытаний, виды проб полезного ископаемого.
2. Основные правила отбора проб для исследования обогатимости, требования к технологическим пробам, масса проб минерального сырья.
3. Беспенная флотация, исследование флотируемости чистых минералов.
4. Выделение мономинеральных фракций.
5. Составление схем подготовки технологических проб к исследованию. Изучение электрических свойств минеральной поверхности в жидкой фазе.
6. Изучение электродного потенциала.
7. Изучение электрокинетического потенциала методами протекания, электроосмоса, электрофореза.
8. Испытание флотационных способов обогащения полезных ископаемых (постановка замкнутого флотоопыта).
9. Исследование обогатимости полезных ископаемых магнитными методами (магнитный анализ).
10. Исследования флотируемости минералов из руд (порядок проведения, постановка флотоопыта).
11. Методы изучения адсорбции реагентов на минеральной поверхности.
12. Методы оценки изменения смачиваемости поверхности.
13. Микроскопические исследования, методики проведения анализов
14. Обработка результатов изучения адсорбции, изотермы адсорбции.
15. Изучение механизма действия активаторов и депрессоров, пенообразователей и собирателей.
16. Оценка влияния времени кондиционирования и плотности пульпы
17. Оценка влияния различных параметров на процесс флотации.
18. Полный количественный минералогический анализ, химический фазовый анализ, рентгенографический фазовый анализ, инфракрасная спектроскопия
19. Разработка схем подготовки лабораторных технологических прообразличных полезных ископаемых к исследованиям на обогатимость.
20. Стадии исследований на обогатимость, планирование исследований.
21. Статистическая обработка результатов эксперимента, оценка ошибок измерений.
22. Методы планирования эксперимента.
23. Методы моделирования объектов изучения и изучаемых процессов.