

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 15.06.2026 16:00:11

Уникальный программный ключ

1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение

высшего образования

«Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»

ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ¹

по дисциплине

«Прогрессивные методы получения цветных металлов»

Факультет: Горно-технологический (ГТФ)

Направление подготовки: 22.04.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): Металлургия цветных металлов

Уровень образования: магистратура

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»

наименование кафедры

Разработчик ФОС:

к.с.-х.н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

О.В. Носова

(подпись)

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ММиО, протокол № 11 от 10.06.2026

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент Е.В. Лаговская

¹ В данном документе представлены типовые оценочные средства. Полный комплект оценочных средств, включающий все варианты заданий (тестов, контрольных работ и др.), предлагаемых обучающемуся, хранится на кафедре в бумажном и электронном виде.

Фонд оценочных средств по дисциплине *Прогрессивные методы получения цветных металлов* для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 *Металлургия* на основе Рабочей программы дисциплины *Прогрессивные методы получения цветных металлов*, Положения о формировании Фонда оценочных средств по дисциплине (ФОС), Положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ЗГУ, Положения о государственной итоговой аттестации (ГИА) выпускников по образовательным программам высшего образования в ЗГУ им. Н.М. Федоровского.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Профессиональные компетенции

ПК-3. Способен учитывать физико-химическую сущность материалов для рационального производства цветных металлов

- **ПК-3.1. (Знать)** классификацию и физико-химические основы прогрессивных пирометаллургических, гидromеталлургических и электрометаллургических методов переработки концентратов.
- **ПК-3.2. (Уметь)** анализировать термодинамику и кинетику процессов бактериального выщелачивания, автоклавного разложения, экстракции и электроэкстракции, рассчитывать параметры этих процессов.
- **ПК-3.3. (Владеть)** методикой выбора и обоснования оптимальной технологической схемы переработки упорного и комплексного минерального сырья с учетом физико-химической сущности материалов.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Тема 1. Классификация методов переработки цветных металлов

- Формируемая компетенция: ПК-3
- Наименование оценочного средства: Собеседование
- Форма оценивания: Устно

Тема 2. Пирометаллургические методы получения цветных металлов

- Формируемая компетенция: ПК-3
- Наименование оценочного средства: Тестовые задания
- Форма оценивания: Письменно

Тема 3. Бактериальное выщелачивание цветных металлов из концентратов

- **Формируемая компетенция:** ПК-3
- **Наименование оценочного средства:** Собеседование
- **Форма оценивания:** Устно

Тема 4. Автоклавный способ разложения концентратов

- **Формируемая компетенция:** ПК-3
- **Наименование оценочного средства:** Собеседование
- **Форма оценивания:** Устно

Тема 5. Экстракционный способ переработки растворов цветных металлов

- **Формируемая компетенция:** ПК-3
- **Наименование оценочного средства:** Практическое занятие (расчетные задачи)
- **Форма оценивания:** Письменно

Тема 6. Электроэкстракция

- **Формируемая компетенция:** ПК-3
- **Наименование оценочного средства:** Собеседование
- **Форма оценивания:** Устно

3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)

Перечень и шкалы оценивания

1. Текущий контроль качества

- **Собеседование по темам:** Шкала оценивания — «Достигнут / не достигнут». Критерии: полнота раскрытия темы, владение профессиональной терминологией.
- **Решение расчетных задач (практическое занятие):** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: правильность выбора формул, корректность вычислений, обоснованность выводов.
- **Тестовые задания:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Пороговый уровень — 75%.

2. Промежуточная аттестация (Зачет)

- **Итоговое тестирование и защита практических работ:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено».
- **Критерии выставления оценки:**

- «Зачтено» выставляется обучающемуся, если он показал прочные знания основных положений дисциплины, успешно решил расчетные задачи, ориентировался в рекомендованной литературе и набрал не менее 75% правильных ответов в итоговом тесте.
- «Не зачтено» выставляется обучающемуся, если при ответе выявились существенные пробелы в знаниях, неумение решить конкретную расчетную задачу или результат итогового тестирования составил менее 75%.

4. Типовые контрольные задания и материалы для оценки знаний

4.1 Задания для текущего контроля успеваемости

Вопросы для собеседования (Темы 1, 3, 4, 6):

1. Дайте классификацию современных методов переработки сульфидного сырья цветных металлов. В чем их принципиальные отличия от традиционных схем?
2. Опишите макромеханизм окисления сульфидов в новых интенсивных пирометаллургических процессах (печи Ванюкова, ПВС, КФП).
3. Каковы термодинамические и кинетические особенности бактериального выщелачивания упорных сульфидных концентратов? Роль тионовых и железобактерий.
4. В чем заключаются преимущества и ограничения автоклавного окислительного выщелачивания по сравнению с обжигом?
5. Опишите принципы электроэкстракции цветных металлов. Факторы, влияющие на выход по току и качество катодного осадка.

Задачи для практического занятия (Тема 5: Экстракционные процессы): *Задача.* В насыщенный раствор соли CuCl добавляют 0,1 М раствор NaCl , изменяя его объем. В результате образуется комплекс CuCl_3^{2-} , влияющий на растворимость соли CuCl . Необходимо рассчитать концентрацию комплексообразующего иона $[\text{Cl}^-]$ в растворе и растворимость соли CuCl (S), а также построить график зависимости растворимости от концентрации ионов хлора. Дано: Исходный объем $V = 100$ мл; концентрация добавляемого раствора $C_p = 0,1$ М; константа растворимости $L = 1,02 \cdot 10^{-6}$; константа устойчивости комплекса $\beta = 2 \cdot 10^5$. Объем добавляемого раствора ΔV определяется по варианту (например, 10 мл, 15 мл, 20 мл и т.д.).

4.2 Задания для промежуточной аттестации (Зачет)

Спецификация комплекта оценочных материалов

- Общее количество заданий: 15.
- Распределение по типам и уровням сложности:
 - Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень): 3 шт.
 - Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень): 3 шт.

- Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень): 3 шт.
- Задания на установление последовательности (Экспертный уровень): 2 шт.
- Задания открытого типа / расчетные (Экспертный уровень): 4 шт.

Тестовые задания

Блок А. Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень)

1. По классификации цветных металлов по плотности к легким металлам относят металлы с плотностью меньше $3,5 \text{ г/см}^3$. К ним относится: а) Хром (Cr) б) Железо (Fe) в) Титан (Ti) г) Цинк (Zn)
2. Рудная плавка, целью которой является не получение металла в свободном виде, а перевод его в обогащенный продукт (сплав сульфидов металлов), называется: а) Восстановительной б) Окислительной концентрационной в) Электролизом расплавленных солей г) Реакционной плавкой, основанной на взаимодействии сульфидов и оксидов при нагревании
3. Побочный продукт в цветной металлургии, представляющий собой сплав сульфидов железа и цветных металлов переменного химического состава, называется: а) Файнштейн б) Шлак в) Штейн г) Чугун

Блок Б. Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень)

4. Хорошему разделению штейна и шлака способствуют следующие факторы (выберите 2 верных варианта): а) Малая растворимость сульфидов цветных металлов в расплавах оксидов б) Относительно низкая температура плавления штейна (ниже $1100 \text{ }^\circ\text{C}$) в) Большая плотность штейна (более 4 г/см^3) г) Присутствие в шлаке большого количества оксидов железа
5. К основным недостаткам обжига концентратов в печи кипящего слоя относятся (выберите 2 верных варианта): а) Низкий коэффициент полезного действия использования тепла б) Высокий пылевынос в) Низкая концентрация диоксида серы в отходящих газах г) Образование при обжиге большого количества комков
6. При плавке на силикатный шлак образуется расплав, близкий по составу к фаялиту ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$). Какие свойства характерны для такого шлака (выберите 2 верных варианта): а) Высокая вязкость при низких температурах б) Способность хорошо растворять оксиды цветных металлов в) Низкая плотность по сравнению со штейном г) Полное отсутствие растворимости сульфидов

Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)

7. Установите соответствие между видом обжига и его основной целью: А. Окислительный обжиг Б. Агломерирующий обжиг В. Кальцинирующий обжиг
 1. Перевод слабо магнитных соединений в сильно магнитные.
 2. Перевод сульфидов металлов в оксиды или сульфаты с удалением серы.

3. Удаление серы и перевод порошкового материала в кусковой (агломерат) для улучшения газопроницаемости.
8. Установите соответствие между процессом и его характерной особенностью: А. Печь Ванюкова Б. Конвертирование медного штейна В. Обеднительная электроплавка
 1. Доизвлечение цветных металлов из конвертерных шлаков и снижение их потерь с отвальными шлаками.
 2. Нагрев шихты и диссоциация высших сульфидов начинается во время вертикального движения к поверхности расплава и завершается в барбатируемой области ванны.
 3. В первом периоде в первую очередь протекают реакции окисления сульфида железа с образованием магнетита.
9. Установите соответствие между типом примеси в меди и способом ее удаления при огневом рафинировании: А. Железо, цинк, свинец Б. Сера, кислород В. Селен, теллур
 1. Окисление и перевод в шлак на стадии шлакования.
 2. Восстановительное рафинирование (продувка природным газом или аммиаком).
 3. Окисление и удаление в виде летучих соединений или перевод в анодный шлак.

Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)

10. Установите правильную технологическую последовательность стадий переработки сульфидных полиметаллических концентратов прогрессивными методами: А. Электроэкстракция или цементация для получения чистого металла. Б. Автоклавное окислительное выщелачивание или бактериальное разложение сульфидной матрицы. В. Обогащение руды и получение сульфидного концентрата. Г. Очистка полученных растворов от примесей (сорбция, экстракция).
11. Установите логическую последовательность этапов экстракционного извлечения металла из раствора: А. Реэкстракция (передача металла из органической фазы в водную). Б. Смешение водного раствора с органическим экстрагентом (экстракция). В. Разделение фаз в отстойнике или центрифуге. Г. Регенерация органической фазы и возврат ее в цикл.

Блок Д. Задания открытого типа / расчетные (Экспертный уровень)

12. (Расчетная задача). Константа распределения лимонной кислоты между водой и эфиром равна 155. Какой объем воды нужно добавить к 250 мл раствора кислоты в эфире, чтобы извлечь из него 25% кислоты? (Привести формулу и расчет).

13. (Расчетная задача). Константа распределения уксусной кислоты между эфиром и водой равна 0,53. Какой объем эфира нужно прибавить к 100 мл водного раствора уксусной кислоты, чтобы извлечь 75% уксусной кислоты? (Привести формулу и расчет).
14. (Аналитический вопрос). Объясните, почему при интенсификации процессов в ванне печи Ванюкова магнетит (Fe_3O_4) восстанавливается до FeO и переходит в силикат, и как это влияет на потери цветных металлов со шлаком?
15. (Аналитический вопрос). Опишите механизм действия тионовых и железобактерий при бактериальном выщелачивании сульфидных концентратов. Какие экологические проблемы могут возникнуть при кучном бактериальном выщелачивании и как их предотвратить?

5. Ключ верных вариантов ответов и критерии оценивания

Ключ к заданиям закрытого типа (Блоки А, Б, В, Г)

Блок А (по 1 баллу за правильный ответ)

1. в (Титан)
2. г (Реакционной плавкой...)
3. в (Штейн)

Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке) 4. а, б (Малая растворимость сульфидов, низкая температура плавления штейна) 5. б, в (Высокий пылевынос, низкая концентрация SO_2) 6. а, в (Высокая вязкость при низких температурах, низкая плотность)

Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие) 7. А-2, Б-3, В-1 8. А-2, Б-3, В-1 9. А-1, Б-2, В-3

Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность) 10. В → Б → Г → А 11. Б → В → А → Г

Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) Оценивание: до 2 баллов за каждый корректно решенный вопрос или названный аспект (максимум 8 баллов за блок).

Вопрос 12 (Расчет экстракции лимонной кислоты): Эталонное решение: Исходная масса кислоты в эфире не дана, но известно, что нужно извлечь 25%, значит в эфире останется 75%. Формула степени извлечения: $E = (K \cdot V_{\text{вод}}) / (K \cdot V_{\text{вод}} + V_{\text{эф}}) \cdot 100\%$, где $K = C_{\text{вод}} / C_{\text{эф}} = 155$. $25 = (155 \cdot V_{\text{вод}}) / (155 \cdot V_{\text{вод}} + 250) \cdot 100$, $0,25 \cdot (155 \cdot V_{\text{вод}} + 250) = 155 \cdot V_{\text{вод}}$, $38,75 \cdot V_{\text{вод}} + 62,5 = 155 \cdot V_{\text{вод}}$, $116,25 \cdot V_{\text{вод}} = 62,5$, $V_{\text{вод}} = 62,5 / 116,25 \approx 0,537$ мл (округленно 0,54 мл). *Критерии:* 1 балл за верную формулу, 1 балл за правильный численный ответ.

Вопрос 13 (Расчет экстракции уксусной кислоты): Эталонное решение: Нужно извлечь 75% из водной фазы в эфир. $K = C_{\text{эф}} / C_{\text{вод}} = 0,53$. Степень извлечения в органическую

фазу: $E = (K * V_{\text{эф}}) / (K * V_{\text{эф}} + V_{\text{вод}}) * 100\%$ $75 = (0,53 * V_{\text{эф}}) / (0,53 * V_{\text{эф}} + 100) * 100$
 $0,75 * (0,53 * V_{\text{эф}} + 100) = 0,53 * V_{\text{эф}} 0,3975 * V_{\text{эф}} + 75 = 0,53 * V_{\text{эф}} 0,1325 * V_{\text{эф}} = 75$
 $V_{\text{эф}} = 75 / 0,1325 \approx 566,04$ мл. *Критерии:* 1 балл за верную формулу, 1 балл за правильный численный ответ.

Вопрос 14 (Магнетит в печи Ванюкова): Эталонные аспекты:

1. В интенсивно барбатируемой ванне создается восстановительная зона у фурм, где магнетит (Fe_3O_4) восстанавливается углеродом или CO до FeO.
2. FeO активно взаимодействует с кремнеземом флюса, образуя легкоплавкий фаялит ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$).
3. Это снижает вязкость шлака, что улучшает седиментацию капель штейна и резко снижает механические (и химические) потери цветных металлов со шлаком.
Критерии: 1 балл за описание восстановления, 1 балл за указание на снижение вязкости и потерь металла.

Вопрос 15 (Бактериальное выщелачивание): Эталонные аспекты:

1. Механизм: бактерии (тионовые и железобактерии) окисляют элементарную серу и сульфиды до серной кислоты, а также окисляют Fe^{2+} до Fe^{3+} . Ионы Fe^{3+} выступают сильным химическим окислителем, разрушающим сульфидную матрицу и высвобождающим цветные металлы в раствор.
2. Экологические проблемы: образование кислых дренажных вод (AMD), выделение SO_2 , загрязнение почв и грунтовых вод тяжелыми металлами.
3. Предотвращение: герметизация куч, сбор и нейтрализация дренажных вод (известкование), рекультивация земель после отработки, использование геомембран.
Критерии: 1 балл за описание механизма, 1 балл за проблемы и методы их предотвращения.

Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:

- Максимальный балл за зачет: 3 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 8 (Блок Д) = 19 баллов.
- Перевод в бинарную шкалу (Зачтено / Не зачтено):
 - **15–19 баллов (75–100%)** — «Зачтено»
 - **Менее 15 баллов (<75%)** — «Не зачтено»