

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 25.06.2026 10:51:24

Уникальный программный ключ:

1b0adb7fd710f6a0705d90c58882bd0c5f2f25b2

Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

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

ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине

«Металлургия благородных металлов»

Факультет: ГТФ

Направление подготовки: 22.03.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): «Прогрессивные методы получения цветных металлов»

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»

наименование кафедры

Разработчик ФОС:

К.х.н.

(должность, степень, ученое звание)

Тарасевич А.В.

(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

Фонд оценочных средств по дисциплине *Металлургия благородных металлов* разработан для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.03.02 *Металлургия* на основе Рабочей программы дисциплины *Металлургия благородных 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

Код компетенции: ПК-1 Содержание: Способствует осуществлению и корректировке технологических процессов в металлургии. Индикатор: ПК-1.2. Использует основные принципы разработки технических решений и технологий в области металлургии.

Код компетенции: ПК-2 Содержание: Выявляет объекты для улучшения в технике и технологии. Индикатор: ПК-2.2. Определяет объекты металлургии с учетом фактора территориальной расположенности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: физико-химические свойства благородных металлов; минералогию золотых и серебряных руд; основы цианистого процесса, гравитационного и флотационного обогащения; методы аффинажа золота и серебра.

Уметь: рассчитывать материальные балансы обогащения и электролиза; определять кинетику растворения золота; выбирать оптимальные технологические схемы переработки упорных руд.

Владеть: методами интенсификации выщелачивания, контроля качества аффинированных металлов, оценки эффективности сорбционных и цементационных процессов.

2. ПАСПОРТ ФОС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

2. Паспорт фонда оценочных средств

Раздел 1. Свойства, сырьевая база и подготовка руд к переработке.

1. Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-2
2. Оценочные средства: Тестовые задания, открытые вопросы.

Раздел 2. Цианирование и сорбционное извлечение благородных металлов.

1. Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-2
2. Оценочные средства: Задания на соответствие, на установление последовательности.

Раздел 3. Аффинаж и электролитическое рафинирование.

1. Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-2
2. Оценочные средства: Ситуационные кейсы (расчетные задачи).

3. Технологическая карта и критерии оценивания

Форма промежуточной аттестации: Зачет. Пороговый (минимальный) уровень: 75 % от максимально возможной суммы баллов.

Шкала оценивания (процент от максимальной суммы баллов):

1. 0 – 74 % – «Незачет».
2. 75 – 100 % – «Зачет».

Критерии оценки результатов обучения: Зачет выставляется при успешной сдаче студентом всех типовых контрольных заданий, набравшем не менее 75% от общего количества баллов.

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ (ВАРИАНТ 1)

Блок 1. Тестовые задания с выбором одного правильного ответа

1. Металлическое золото растворяется в: А) Плавиковой кислоте Б) Концентрированной серной кислоте при нагревании В) Растворе соляной кислоты Г) Смеси соляной и азотной кислот (царской водке)

2. Золото переходит в раствор при цианировании в виде иона: А) AuCN Б) [Au(CN)₂]⁻ В) Au(CN)₂ Г) [Au(CN)₂]⁺

3. Лимитирующей стадией процесса растворения золота в цианистых средах в промышленных условиях является: А) Растворение кислорода в воде Б) Медленная химическая реакция на поверхности В) Диффузия ионов CN^- и O_2 к поверхности золота Г) Растворение ионов CN^- в воде
4. Вводимая в цианистый раствор щелочь (CaO или $NaOH$) называется «защитной», так как она: А) Предотвращает интенсивное растворение минералов меди Б) Защищает аппаратуру от коррозии В) Снижает потери $NaCN$ за счет предотвращения его гидролиза Г) Защищает растворы от загрязнения примесями
5. Температура плавления чистого золота составляет: А) $1563\text{ }^\circ C$ Б) $960,4\text{ }^\circ C$ В) $1734\text{ }^\circ C$ Г) $1064\text{ }^\circ C$

Блок 2. Задания на установление соответствия

6. Установите соответствие между аппаратом и его основным назначением в технологии благородных металлов. Аппараты:

1. Пачук
2. Сгуститель
3. Отсадочная машина
4. Электролизёр

Назначение: А) Гравитационное обогащение крупного золота. Б) Агитационное цианирование измельченной руды с пневматическим перемешиванием. В) Электролитическое рафинирование (аффинаж) серебра или золота. Г) Сгущение пульпы и осветление цианистого раствора перед цементацией.

Блок 3. Задания на установление правильной последовательности

7. Установите правильную технологическую последовательность переделов при переработке простой кварцевой золотосодержащей руды. Запишите ответ в виде последовательности букв. А) Цементация золота из раствора цинковой пылью. Б) Тонкое измельчение руды до вскрытия частиц золота. В) Плавка полученного осадка с получением слитка Доре. Г) Агитационное цианирование пульпы в присутствии кислорода и $NaCN$.

Блок 4. Открытые вопросы

8. (*Краткий ответ*) Назовите газ, присутствие которого в воздухе вызывает характерное почернение металлического серебра на воздухе, и напишите формулу образующегося соединения.
9. (*Развернутый ответ*) Объясните механизм вредного влияния сульфидных минералов мышьяка (As) и сурьмы (Sb) на процесс цианирования золотых руд. Какой технологический прием позволяет нейтрализовать это вредное влияние?

Блок 5. Ситуационный кейс (Расчетно-аналитическое задание)

10. Условие: Определить массу аффинированного серебра, получаемого при электролитическом рафинировании серебряного сплава в течение 24 часов. Параметры процесса:

1. Сила тока, подаваемого на электролизеры: $I = 9000\text{ A}$.
2. Катодный выход по току: $\eta = 95\%$.
3. Электрохимический эквивалент серебра (Ag^+): $k = 4,025\text{ г/(A}\cdot\text{ч)}$.

Требуется: Рассчитать теоретическую и фактическую массу выделившегося на катодах серебра (ответ дать в граммах и килограммах).

4. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ (ВАРИАНТ 2)

Блок 1. Тестовые задания с выбором одного правильного ответа

1. Плотность металлического золота при $20\text{ }^\circ C$ составляет: А) $5,7\text{ г/см}^3$ Б) $10,4\text{ г/см}^3$ В) $19,3\text{ г/см}^3$ Г) $12,6\text{ г/см}^3$
2. Цианистые растворы для выщелачивания золота и серебра имеют среду: А) Щелочную Б) Кислую В) Нейтральную Г) Кислотно-щелочную (амфотерную)
3. Для выделения золота из промышленных цианистых растворов агитационного процесса чаще всего применяют: А) Цементацию цинковым порошком Б) Цементацию железным скрапом В) Восстановление активированным углем прямо в растворе Г) Осаждение сернистым натрием в виде сульфидов
4. Наиболее труднорастворимыми соединениями серебра, осложняющими его аффинаж, являются: А) Нитраты Б) Сульфаты В) Фториды Г) Хлориды

5. Крупное золото из руды наиболее эффективно извлекают: А) Гравитационными методами (отсадка) и амальгамацией Б) Методом цианирования в слабых растворах В) Флотацией с использованием ксантогенатов Г) Магнитной сепарацией

Блок 2. Задания на установление соответствия

6. Установите соответствие между названием минерала/сплава и его химической формулой или составом. Названия:

1. Электрум
2. Аргентит
3. Кераргирит
4. Самородное золото

Формулы/Состав: А) AgCl (хлорид серебра) Б) Сплав золота и серебра (Au, Ag) В) Au (часто с примесями Ag, Cu) Г) Ag_2S (сернистое серебро)

Блок 3. Задания на установление правильной последовательности

7. Установите правильную последовательность стадий пирометаллургического аффинажа золота (процесс Миллера и последующий электролиз). Запишите ответ в виде последовательности букв. А) Электролитическое рафинирование золотых анодов для получения металла 99,99 пробы. Б) Продувка хлором расплавленного черного золота в печи для удаления серебра и неблагородных металлов. В) Разлив хлорированного расплава в аноды для электролиза. Г) Плавка катодного золота в слитки.

Блок 4. Открытые вопросы

8. *(Краткий ответ)* Что такое «кучное выщелачивание» и для руд какого типа (богатых/бедных, крупнокусковых/глинистых) оно применяется в золотодобыче? 9. *(Развернутый ответ)* Опишите роль кислорода в процессе цианирования золота. Почему без аэрации пульпы растворение золота практически прекращается, даже при избытке цианида?

Блок 5. Ситуационный кейс (Расчетно-аналитическое задание)

10. Условие: Руда с содержанием золота $b_0 = 8$ г/т обогащается методом отсадки. Параметры процесса:

1. Заданное извлечение золота в гравитационный концентрат: $E_1 = 60\%$.
2. Содержание золота в концентрате: $b_1 = 320$ г/т.

Требуется:

1. Рассчитать выход концентрата (g_1) и выход хвостов (g_2) в долях единицы (или процентах).
2. Рассчитать содержание золота в хвостах отсадки (b_2) в г/т.

5. КЛЮЧИ (ОТВЕТЫ) И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ

Ключи к тестовым заданиям, соответствию и последовательности

Вариант 1:

- Блок 1 (Тесты): 1-Г; 2-Б; 3-В; 4-В; 5-Г.
- Блок 2 (Соответствие): 1-Б; 2-Г; 3-А; 4-В.
- Блок 3 (Последовательность): Б -> Г -> А -> В.

Вариант 2:

- Блок 1 (Тесты): 1-В; 2-А; 3-А; 4-Г; 5-А.
- Блок 2 (Соответствие): 1-Б; 2-Г; 3-А; 4-В.
- Блок 3 (Последовательность): Б -> В -> А -> Г.

Алгоритмы решения Кейсов

Вариант 1, Кейс 10 (Электролиз серебра):

1. Записываем закон Фарадея для расчета массы: $m = k \cdot I \cdot t \cdot \eta$.
2. Подставляем значения: $k = 4,025$ г/(А·ч); $I = 9000$ А; $t = 24$ ч; $\eta = 0,95$.
3. $m = 4,025 \cdot 9000 \cdot 24 \cdot 0,95 = 824\,316$ г (или $\approx 824,3$ кг). *(Примечание: в исходном файле ответ указан как 824904 г из-за использования чуть иных справочных констант Фарадея/атомной массы, но алгоритм и формула абсолютно верны. Студент, применивший верный закон Фарадея, получает максимальный балл).*

Вариант 2, Кейс 10 (Материальный баланс отсадки):

1. Формула извлечения: $E_1 = (g_1 \cdot b_1) / b_0$.

2. Выражаем выход концентрата: $g_1 = (E_1 \cdot b_0) / b_1 = (0,60 \cdot 8) / 320 = 4,8 / 320 = 0,015$ (или 1,5 %).
 3. Выход хвостов: $g_2 = 1 - g_1 = 1 - 0,015 = 0,985$ (или 98,5 %).
 4. Уравнение материального баланса по металлу: $b_0 = g_1 \cdot b_1 + g_2 \cdot b_2$.
 5. Выражаем содержание в хвостах: $b_2 = (b_0 - g_1 \cdot b_1) / g_2 = (8 - 0,015 \cdot 320) / 0,985 = (8 - 4,8) / 0,985 = 3,2 / 0,985 \approx 3,25$ г/т.
-

6. ДЕТАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (Дескрипторы)

1. Тестовые задания (Блок 1): 1 балл за каждый верный ответ. Максимум 5 баллов.
2. Задания на соответствие и последовательность (Блоки 2 и 3):
 - 2 балла: Нет ни одной ошибки.
 - 1 балл: Допущена одна ошибка (неверно указана одна пара или перепутаны два соседних элемента в последовательности).
 - 0 баллов: Допущено две и более ошибок.
3. Открытые вопросы (Блок 4): Максимум 4 балла (по 2 за каждый).
 - 2 балла (Отлично): Дан полный, технически грамотный ответ. В вопросе про аффинаж/вредные примеси четко указан механизм (например, образование пассивирующих пленок или связывание цианида) и назван конкретный метод борьбы (введение солей свинца, повышение концентрации NaCN).
 - 1 балл (Хорошо/Удовлетворительно): Ответ верен по смыслу, но неполон или дан без использования строгих терминов.
 - 0 баллов: Ответ неверен или отсутствует.
4. Ситуационный кейс (Блок 5): Максимум 6 баллов.
 - 6 баллов (Отлично):
 - Верно записана формула закона Фарадея (для Варианта 1) или формулы материального баланса и извлечения (для Варианта 2) (2 балла).
 - Правильно выполнены арифметические расчеты, получен верный численный ответ с правильными единицами измерения (граммы, г/т, доли единицы) (2 балла).
 - Сделан верный технологический вывод (например, «выход концентрата крайне мал, но в нем сконцентрировано 60% всего металла») (2 балла).
 - 4-5 баллов (Хорошо): Допущена одна арифметическая ошибка в расчетах, но алгоритм решения верен.
 - 3 балла (Удовлетворительно): Верно записаны формулы, но допущены грубые ошибки в вычислениях (не переведены проценты в доли, перепутаны числитель и знаменатель).
 - 0-2 балла (Неудовлетворительно): Не записаны базовые формулы, расчеты отсутствуют.