ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО ПИГМЕНТА ИЗ РАСТВОРА BIOX И ОЧИСТКИ ПИГМЕНТА ОТ МЫШЬЯКА

Тошкодирова Рано Эркинжоновна
Алмалыкский государственный технический институт PhD, доцент
г. Алмалык, Республика Узбекистан
E-mail: **toshkodirova.r@odti.uz,**
Кенжаева Севара Абсаматовна
Алмалыкский государственный технический институт, докторант,
E-mail: **kenjayeva.s@odti.uz** *г.*
Алмалык, Республика Узбекистан,
Караева Рузанна Серверовна,
Алмалыкский государственный технический институт, студентка 2-курса
г. Алмалык, Республика Узбекистан
Ниёзмамадова Нигина Саид кизи
Алмалыкский государственный технический институт, студентка 1-курса
г. Алмалык, Республика Узбекистан

Аннотация. В работе оценена термодинамическая возможность удаления мышьяка из железооксидных пигментов, полученных из техногенных растворов после нейтрализации продуктов биоокисления на ГМЗ-3 НГМК. Повышенное содержание мышьяка (3,29 %) потребовало его селективной очистки для обеспечения экологической безопасности. Расчёты свободной энергии Гиббса для реакций с Na_2S при 25–120 °C показали, что соединения железа устойчивы, тогда как мышьяксодержащие фазы легко переходят в сульфиды. Оптимальные условия удаления мышьяка достигаются при 40–60 °C. Полученные результаты важны для экологически безопасного применения пигментов и совершенствования технологий переработки металлургических отходов.

Ключевые слова: биоокисление, техногенный раствор, железооксидный пигмент, мышьяк, сульфид натрия, энергия Гиббса, термодинамический анализ, селективная очистка, оптимальная температура, экологическая безопасность.

Abstract. The study evaluates the thermodynamic feasibility of removing arsenic from iron oxide pigments obtained from technogenic solutions after neutralization of bio-oxidation products at GMZ-3 of NGMK. The elevated arsenic content (3.29%) required its selective removal to ensure environmental safety. Calculations of Gibbs free energy for reactions with Na_2S at 25–120 °C showed that iron

compounds remain stable, whereas arsenic-containing phases readily convert into sulfides. Optimal conditions for arsenic removal are achieved at 40–60 °C. The results obtained are important for the environmentally safe use of pigments and for improving technologies for processing metallurgical waste.

Keywords: bio-oxidation, technogenic solution, iron oxide pigment, arsenic, sodium sulfide, Gibbs free energy, thermodynamic analysis, selective purification, optimal temperature, environmental safety.

Annotatsiya. Ushbu ishda NKMK GMZ-3 korxonasida biooksidlanish mahsulotlarini neytrallashdan so‘ng hosil bo‘lgan texnogen eritmalardan olingan temir oksidli pigmentlardan mishyakni olib tashlashning termodinamik imkoniyati baholandi. Mishyakning yuqori miqdori (3,29 %) ekologik xavfsizlikni ta’minlash maqsadida uni selektiv ravishda ajratib olishni talab qildi. 25–120 °C harorat oralig‘ida Na_2S bilan sodir bo‘ladigan reaksiyalar uchun Gibbs erkin energiyasi hisob-kitoblari temir birikmalari barqarorligini saqlab qolishini, mishyak saqlovchi fazalar esa osonlik bilan sulfidlarga aylanishini ko‘rsatdi. Mishyakni samarali olib tashlash uchun optimal sharoitlar 40–60 °C haroratda kuzatildi. Olingan natijalar pigmentlardan ekologik jihatdan xavfsiz foydalanish hamda metallurgiya chiqindilarini qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: biooksidlanish, texnogen eritma, temir oksidli pigment, mishyak, natriy sulfidi, Gibbs erkin energiyasi, termodinamik tahlil, selektiv tozalash, optimal harorat, ekologik xavfsizlik.

ВВЕДЕНИЕ.

Биологическое окисление — это микробиологическая деструкция сульфидных минералов специализированными микроорганизмами, преимущественно Acidithiobacillus ferrooxidans, A. thiooxidans и Leptospirillum ferrooxidans. Процесс включает стадии промывки, сгущения биокека и нейтрализации кислых сточных вод. Основные минералы — пирит и арсенопирит, содержащие золото в виде субмикроскопических включений, что затрудняет его извлечение традиционным цианированием. Микроорганизмы окисляют Fe^{2+} до Fe^{3+} и сульфиды серы до сульфатов, используя кислород и CO_2 как источники энергии и углерода. Оптимальные условия их активности: температура 40–44 °C и pH 1,2–1,6. Реакции окисления экзотермичны, поэтому для поддержания стабильной температуры пульпы требуется охлаждение. При окислении пирита образуется серная кислота, тогда как окисление арсенопирита сопровождается её потреблением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Биологическое окисление является экономически эффективным и экологически безопасным методом

ISSN 3030-3907

переработки золотосодержащих сульфидных концентратов (пирит, арсенопирит, пирротин). Процесс основан на окислении сульфидных минералов хемолитотрофными микроорганизмами (Acidithiobacillus thiooxidans, Leptospirillum ferriphilum, Sulfobacillus thermotolerans и др.), использующими серу и её соединения как источник энергии при 38–42 °C [2–5, 7–8]. В результате разложения сульфидов соединения As, Fe и S переходят в жидкую фазу, плотность пульпы снижается, а потери твёрдой массы достигают 10–30 %. Для удаления растворённого железа и мышьяка твёрдый остаток промывают; недостаточная промывка снижает извлечение золота и увеличивает расход цианида.

Кислые стоки (pH <2), содержащие Fe^{3+}, As и H_2SO_4, нейтрализуют известняковой суспензией с образованием устойчивого арсената железа ($FeAsO_4$) и гипса. Нейтрализованный раствор используется повторно, а осадок направляется на извлечение ценных компонентов, обеспечивая малоотходную переработку. Комбинированная технология, включающая биологическое окисление, окислительный обжиг и сорбционное цианирование, успешно внедрена на НГМК, повышая извлечение золота. Основная проблема заключается в трудности разделения соединений Fe и As, что требует дальнейшего совершенствования методов экологической нейтрализации [6–12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.

Таблица 1.

Химический состав пигментного продукта, содержащего железо

№	Элемент	Масса (mass%)	№	Элемент	Масса (mass%)
1	Cl	0,0278	12	Cu	0,107
2	Mg	4,54	13	Zn	0,225
3	Al	0,83	14	As	3,29
4	Si	0,589	15	Se	0,0051
5	S	0,599	16	Sr	0,0365
6	Ca	7,5	17	Y	0,0029
7	Cr	0,014	18	Zr	0,25
8	Mn	0,0944	19	Cd	0,0014
9	Fe	63,5	20	Sn	0,0039
10	Co	0,198	21	Sb	0,129
11	Ni	0,0735	22	Te	0,0017

ISSN 3030-3907

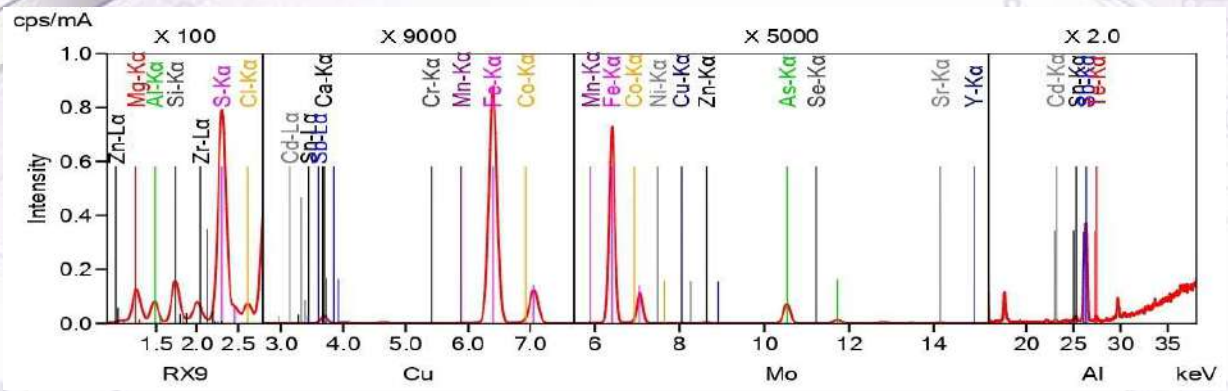


Рисунок 1. Рентгенофлуоресцентный (XRF) спектр химического состава пигмента, содержащего железо

Выделение мышьяка из железооксидного пигмента рассматривалось как ключевое направление исследования. Для этого проведён термодинамический анализ взаимодействия компонентов пигмента с сульфидом натрия (Na_2S), способным селективно переводить мышьяк в растворимую форму натрий арсенатов при минимальном воздействии на железо. Высокая адсорбционная способность FeOOH к мышьяку затрудняет их разделение, однако применение Na_2S разрушает связи Fe–As. Образующиеся сульфиды железа при последующей сушке в кислородной среде окисляются до гематита (Fe_2O_3), формируя стабильный, очищенный от серы и мышьяка пигмент.

Эффективность процесса подтверждена расчётами зависимости $\Delta G°$ от температуры для основных реакций на основе термодинамических данных ($\Delta H°$, $\Delta S°$, $\Delta G°_{298}$).

Полученные уравнения позволили оценить термодинамическую устойчивость взаимодействий между пигментом и сульфидом натрия, а также определить направление протекания процессов. Результаты расчётов приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Уравнения зависимости энергии Гиббса от температуры для реакций между компонентами пигмента и сульфидом натрия

№	Химические реакции	Уравнение энергии Гиббса, кДж/моль
1	$2Fe(OH)_3 + 3Na_2S = 2FeS + S + 6NaOH$	$\Delta G_1 = 502{,}4 - 0{,}00238*T$
2	$2As(OH)_3 + 3Na_2S = As_2S_3 + 6NaOH$	$\Delta G_2 = -164 + 0{,}247*T$
3	$2FeAsO_4 + 3Na_2S = 2FeS + S + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_3 = -283{,}342 + 0{,}3277*T$
4	$Fe_3(AsO_4)_2 + 3Na_2S = 3FeS + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_4 = -183{,}0 + 0{,}308*T$
5	$As_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3[AsS_3]$	$\Delta G_5 = -1773{,}8 - 0{,}1664*T$
6	$Mg_3(AsO_4)_2 + 3Na_2S = 3MgS + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_6 = 534{,}86 - 0{,}2117*T$

ISSN 3030-3907

7	$Ca_3(AsO_4)_2 + 3Na_2S = 3CaS + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_7 = -312{,}8 - 0{,}209*T$
8	$Mg(OH)_2 + Na_2S = MgS + 2NaOH$	$\Delta G_8 = 52{,}5 + 0{,}0547*T$
9	$Ca(OH)_2 + Na_2S = CaS + 2NaOH$	$\Delta G_9 = -175{,}0 + 0{,}07*T$

Результаты термодинамического анализа (табл.2) показали, что селективная очистка железосодержащего пигмента от мышьяка с использованием Na_2S термодинамический обоснована уже при стандартных условиях. Для реакции $Fe(OH)_3 + Na_2S$ значение $\Delta G° > 0$, что указывает на устойчивость железа в твёрдой фазе и отсутствие его потерь. Напротив, для соединений $As(OH)_3$, $FeAsO_4$ и $Fe_3(AsO_4)_2$ характерны отрицательные $\Delta G°$, подтверждающие возможность перехода мышьяка в сульфидные (As_2S_3) и тиометаллатные ($Na_3[AsS_3]$) формы. Особенно выражена термодинамическая вероятность реакции образования As_2S_3 ($\Delta G° = -1773{,}8 - 0{,}1664T$). Магнийсодержащие соединения ($Mg_3(AsO_4)_2$, $Mg(OH)_2$) не склонны к сульфированию ($\Delta G° > 0$), тогда как кальциевые — термодинамически активны ($\Delta G° < 0$). Таким образом, при обработке Na_2S железо сохраняется в твёрдой фазе, а мышьяк переходит в устойчивые растворимые соединения, что подтверждает селективность и энергетическую реализуемость процесса в диапазоне 25–120 °C.

В то же время для соединений железа, магния и кальция значения $\Delta G°$ остаются положительными, что подтверждает термодинамическую невыгодность их взаимодействия с сульфидом натрия. С практической точки зрения оптимальным признан температурный диапазон 40–60 °C, поскольку при этих условиях реакции обладают достаточной кинетической активностью, тогда как потери Na_2S за счёт испарения и выделения H_2S минимальны.

Таким образом, оптимальная температура для селективной очистки пигмента сульфидом натрия установлена в пределах 40–60 °C.

Проведённые термодинамические расчёты показали, что в техногенных растворах, образующихся после нейтрализации продуктов биоокисления на 3-м гидрометаллургическом заводе Навоийского горно-металлургического комбината, при щелочном осаждении железо остаётся в виде устойчивых гидроксидных соединений, тогда как мышьяк выделяется преимущественно в сульфидной (AsS_3) и тиометаллатной ($Na_3[AsS_3]$) формах. Эти результаты подтвердили термодинамическую обоснованность селективного удаления мышьяка и позволяет разработать теоретические основы и практические условия эффективного проведения процесса очистки.

Проведённый анализ может быть использован при разработке технологий переработки техногенных растворов, получения экологически

ISSN 3030-3907

безопасных пигментов и адсорбентов из металлургических отходов, а также для обезвреживания токсичных компонентов (мышьяка, селена и теллура) путём их перевода в сульфидную фазу.

Данный подход также может служить научной основой для создания технологий селективного извлечения тяжёлых металлов из техногенных растворов и их дальнейшей экономически эффективной переработки в процессах биоокисления, гидрометаллургии и охраны окружающей среды.

ВЫВОД. В результате проведённых исследований комплексно изучены фазовое состояние, химическая форма и возможности разделения соединений железа и мышьяка в техногенных растворах, образующихся после бактериального окисления упорных золотосодержащих сульфидных концентратов. В пигментных образцах, полученных после нейтрализации, основным компонентом идентифицирован гидроксид железа (III), при этом содержание мышьяка составило 3,29 %, что значительно превышает установленные экологические нормы. В связи с этим разработка технологии селективной очистки пигмента от токсичных компонентов определена как научная и практическая необходимость.

Результаты термодинамического анализа позволили установить характер взаимодействия между соединениями железа и мышьяка в присутствии сульфида натрия (Na_2S). Для $Fe(OH)_3$ и FeOOH значения энергии Гиббса во всём температурном диапазоне остаются положительными, что подтверждает термодинамическую устойчивость железа в твёрдой фазе. В то же время для мышьяксодержащих соединений ($As(OH)_3$, $FeAsO_4$, $Fe_3(AsO_4)_2$) получены отрицательные значения $\Delta G°$, указывающие на их способность вступать во взаимодействие с Na_2S с образованием термодинамически устойчивых сульфидных (As_2S_3) и тиометаллатных ($Na_3[AsS_3]$) комплексов.

Анализ изменения температуры в диапазоне 25–120 °C показал, что оптимальным является интервал 40–60 °C. В этом температурном диапазоне значения стандартной энергии Гиббса ($\Delta G°$) для мышьяксодержащих соединений наиболее отрицательны, что указывает на высокую термодинамическую активность реакций. При этом процессы испарения воды, потери сульфида натрия и выделения H_2S протекают на минимальном уровне.

Таким образом, процесс селективной очистки пигментов, образующихся из продуктов биоокисления, с использованием сульфида натрия протекает при температуре 40–60 °C в наиболее термодинамических благоприятных условиях. Полученные результаты создают надёжную научную основу для разработки экологически безопасной, малоотходной и

ISSN 3030-3907

экономически эффективной технологии очистки пигментов, а также рассматриваются как перспективное направление в рамках комплексной переработки металлургических отходов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Хожиев Ш.Т., Тошкодирова Р.Э., Кенжаева С.А. Термодинамическое обоснование селективной очистки железооксидного пигмента от мышьяка, полученного из биоокислительных растворов // Черные металлы. – 2026. – № 3 (1131). – С. 85–91.
2. Кенжаева С. А., Тошкодирова Р. Э. Исследование переработки растворов, образующихся при биологическом окислении упорных золотосодержащих руд // *Development of Science*. – 2025. – Т. 2. – № 6.
3. Тошкодирова Р.Э., Кенжаева С.А., Учкунов А.Т. Оптимизация параметров процесса экстракции при извлечении ионов тяжёлых металлов из растворов после биоокисления // International Journal of Scientific Bulletin. – 2026. – Т. 3. – № 1. – С. 24–29.
4. Кусков В. Б., Львов В. В., Юшина Т. И. Increasing the recovery ratio of iron ores in the course of preparation and processing // CIS Iron and Steel Review. — 2021. — Vol. 21. — P. 4–8.
5. Багилли, Г. И., Аббазова, К. М. Биологическое выщелачивание бактериями thiobacillus thiooxidans и thiobacillus ferrooxidans//. В сб.: Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2019. – С. 11–15.
6. Johnson, D. B. Biomining – biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials / D. B. Johnson // Current Opinion in Biotechnology. – 2014. – V. 30. – P. 24–31.
7. Кондратьева, Т. Ф., Булаев, А. Г., Муравьев, М. И. Микроорганизмы в биогеотехнологиях переработки сульфидных руд. – М.: Наука, 2015. – 212 с.
8. Орехова, Н. Н., Шадрунова, И. В. Эколого–экономические аспекты комплексной переработки техногенного гидроминерального сырья / Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2014. – С. 161−179.
9. Lottermoser, B. G. (2010). Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Springer.
10. Bulaev, A., Belyi, A., Panyushkina (Zhuravleva), A., Solopova, N., Pivovarova, T. Microbial Population of Industrial Biooxidation Reactors // Solid State Phenomena. – 2017. – Vol. 262. – P. 48–52.
11. Санакулов К. С. Особенности технологии извлечения металла из упорных и особо упорных золотосульфидно-мышьяковистых руд // Горный вестник Узбекистана. — 2014. — № 2. — С. 33–36.

ISSN 3030-3907

12. Митерев Г. А., Черкинский С. Н. Санитарная охрана водоёмов от загрязнения промышленными сточными водами. – М.: Медгиз, 1954. – 240 с.

ISSN 3030-3907