

O'zbekiston

ISSN 2181-7383

KONCHILIK XAVARNOMASI

2

№ 89

ILMIY-TEXNIK VA ISHLAB CHIQRISH JURNALI

April - Iyun 2022

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРНЫЙ ВЕСТНИК

УЗБЕКИСТАНА

МИТГ



ЦНИЛ

MUNDARIJA / ОГЛАВЛЕНИЕ

GEOTEKNOLOGIYA / GEOTEKHOLOGIYA

Раимжанов Б.Р., Хакимов Ш.И., Хамзаев С.А., Равшанов А.А. Разработка и обоснование эффективности комбинированных систем разработки с искусственными целиками в сложных геомеханических условиях.....	4
Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Мехмонов М.Р., Очилов Ш.А. Разработка способов повышения качества дробления массива горных пород путем управления параметрами энергии взрыва.....	8
Махмудов А.М. Теоретическое исследование способа подготовки горных пород к выемке на основе ударного разрушения.....	13
Петухов О.Ф., Назаров В.Ф., Каримов А.К. Шарафутдинов У.З. Физико-химические основы и технология подземного выщелачивания урана с использованием кислорода и кислорода воздуха.....	16
Махмудов Д.Р., Заиров Ш.Ш., Исраилов М.А., Кудратов И.А. Исследование возможности применения гидрогелевой забойки для обеспечения необходимого качества взорванной горной массы.....	20
Жабборов О.И., Куролов А.А., Тухташев А.Б. Обоснование рациональных способов выемочно-погрузочных работ при отработке запасов мелкомасштабных золоторудных месторождений.....	24
Норматова М.Ж., Заирова Ф.Ю., Фатхиддинов А.У. Анализ способов снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах.....	30
Аликулов Ш.Ш., Рабимов Х.Р., Халимов И.У., Каримов Н.М. Исследования и разработка мероприятий по предотвращению механической кольтации пласта при подземном выщелачивании урана.....	33

GEOLOGIYA / GEOLOGIYA

Ризаев М.М., Мусаев А.М., Джуманиязов Д.И., Туракулов А.У. Твейтозиты Кошрабадского интрузива (западный Узбекистан).....	41
Курбонов Э.Ш. Особенности формирования обвальнo-провальных обрушений в условиях месторождения Хандиза.....	46
Косбергенов К.М., Ишбаев Х.Д. Дайка керсантита в гранитоидах Каратауского интрузива (южное Нуратау).....	50
Мундузова М.А., Бадалов Ф.А., Касимова Ш.Р., Холмахмадов Ш.Ф. Собственно золоторудные формации в терригенно-карбонатных породах Алмалыкского рудного района.....	54
Ахмедов Н.А. Состояние и перспективы геологоразведочных работ на алмазы в Узбекистане.....	60
Ахмедов Н.А., Антонов А.Е., Орипов С.Г. Коктатас – Оюктепесский золоторудный тренд северных Кызылкумов.....	65
Ахмедов Н.А., Ежков Ю.Б. Редкометалльная стратегия Узбекистана (потенциал, рост, перспективы освоения).....	68
Ахмедов Н.А., Джабаров Р.А., Тесленко Г.С. Региональные автономные комплексы базитовых даек и рудоносность.....	73

BOYITISH VA METALLURGIYA / БОГАЩЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

Арипов А.Р., Холкуллов Д.В., Saidaxmedov А.А., Voxidov В.Р. Qorauzyak koni vermikulit rudasini boyitish texnologiyasini ishlab chiqish.....	76
Чулиев Ф.Г., Шмакина М.Г., Кароматов С.С. Определение оптимальных параметров переработки хвостов ЦКВЗ на ГМЗ-7.....	80

ILMIY-LABORATORIYA IZLANISHLARI / НАУЧНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Усманов Р.И. Способ дезинтеграции минеральных компонентов и вскрытия золота из особо упорных сульфидно-золотомышьяковых руд и концентратов резонансным воздействием ВЧ ЭМВ.....	85
Parmonov S.T., Kulmurodov Z.S., Parmonov G.M., Xujakulov N.B. Ultra dispers TiC zarrachalar miqdorining volfram karbid kobaltli qattiq qotishma strukturasi va fizik-mexanik xossalari ta'sirini aniqlash.....	92
Воробьев А.Е., Перегудов В.В. Влияние нанозолота на технологии обогащения золотосодержащих природных и техногенных руд.....	95
Фахриддинова Ш.Б., Ибрагимов А.А., Сирожова М.М., Олимов М.Г. Исследование процесса пластификации поливинилфторида с полиэтиленом.....	100
Каршибоев Ш.Б., Хасанов А.С., Мирзанова З.А., Рахимжонов З.Б. Изучение и исследование процесса экстракции индия из оборотных растворов.....	103

AVTOMATLASHTIRISH VA BOSHQARISH / АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Сайидкосимов С.С., Низамова А.Т., Хакбердиев М.Р. Информационные технологии геомеханического обеспечения безопасного недропользования.....	106
Жумаев О.А., Сайфулин Р.Р. Микропроцессорная система контроля и управления с нечеткой обработкой информации в металлообрабатывающем станке.....	111

ELEKTROENERGETIKA / ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Tovboev A.N., Saidov M.K., Togaev I.B. 6-10 kV kuchlanishli havo elektr uzatish tarmoqlarida elektr energiyasi va quvvat isroflariing statistik tahlili va quvvat isroflarini kamaytirish chora-tadbirlari.....	114
Полвонов Н.О., Атакулов Л.Н. Устройства для определения дефектов конвейерных лент.....	119

MA'LUMOT / ИНФОРМАЦИЯ

Рахматов А.Б., Джалилов Ш.С. Диагностика и лечение разноцветного лишая у работников горно-металлургической отрасли.....	122
---	-----

TABRIKLAR / ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Шарипов Хасан Турабович 75 лет.....	125
Sayyidqosimov Sayyidjabbor Sayyidqosim o'g'li 75 yosh.....	126
Inogamov Ibragim Ixamovich 70 yosh.....	127

REKLAMA / РЕКЛАМА

На обложке:
«Normet international LTD»
«INTERTECH Process Technology»
Epiroc
В тексте: ПО «НМЗ»

СПОСОБ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ И ВСКРЫТИЯ ЗОЛОТА ИЗ ОСОБО УПОРНЫХ СУЛЬФИДНО-ЗОЛОТОМЫШЬЯКОВЫХ РУД И КОНЦЕНТРАТОВ РЕЗОНАНСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЧ ЭМВ

Yuqori chastotali elektromagnit to'lqinning oltinli rudalar va uning kontsentratlariga ta'siri nazariyasi va amaliyoti masalalariga qaratilgan, EMT manbasining asosiy parametrlarini tanlashga e'tibor beriladi. Minerallarda mikro yoriqlar va kanallarni shakllantirish bilan interfaza chegaralari bo'ylab mineral komponentlarning parchalanishining amaliy natijalari keltirilgan.

Tayanch iboralar: yuqori chastotali elektromagnit to'lqin, murrakab oltin rudalar va kontsentratlari, minerallarni dezintegratsiya qilish va parchalash, erkin tsianlanuvchi oltin.

Рассматриваются вопросы теории и практики осуществления воздействия высокочастотной электромагнитной волны на золотоносные руды и его концентраты, уделяется внимание выбору основных параметров источника излучателя ЭМВ. Приводятся практические результаты дезинтеграции минеральных компонентов по межфазным границам с образованием микротрещин и каналов.

Ключевые слова: высокочастотная электромагнитная волна, упорные золотоносные руды и концентраты, разрушение и дезинтеграция минералов, свободно цианируемое золото.



Усманов Р.И.,
руководитель группы
ИЦ по ВНТ АО «НГМК»,

В данной статье, рассматриваются вопросы теории и практики осуществления воздействия высокочастотной электромагнитной волны (ВЧ ЭМВ) на золотоносные руды и их концентраты, уделяется внимание выбору основных параметров источника излучателя ЭМВ [1, 2] (в том числе, тангенс угла диэлектрических потерь, комплексная диэлектрическая проницаемость и чувствительность минералов к резонансному импульсному воздействию) для практической реализации в опытно-промышленных масштабах.

В настоящее время всё больше в обработку вовлекаются упорные сульфидные золотомышьяковые руды, в которых ультратонкие частицы золота диспергированы в сульфидных минералах, представленных в основном пиритом, арсенопиритом, пирротинном, а также антимонитом, с незначительным количеством галенита, сфалерита, халькопирита, сфалерита, тетраэдрита, марказита и др.

Известные технологии переработки таких руд (добыча, дробление, измельчение, флотация, биоокисление, обжиг и т.д.) сопряжены с преодолением трудностей, связанных с физической и химической упорностью руд.

В последние годы все большую популярность для обеспечения дезинтеграции минеральных компонентов по межфазным границам за счет образования микротрещин и каналов, приобретают технологии переработки, основанные на использовании в качестве источника энергии высокочастотной электромагнитной волны (ВЧ ЭМВ).

На разрушение породы при обычном механическом измельчении идёт только 1% затрачиваемой энергии, а остальные 99% переходят в тепло и звук. Поэтому по сравнению с другими физическими методами разупрочнения пород (электрогидравлический удар, ультразвук, ИК-облучение, электрический разряд и т.д.) СВЧ-метод имеет ряд преимуществ. В данной работе отмечается, что при СВЧ обработке на границах раздела фаз возникают сильные термомеханические напряжения, превышающие предел прочности и приводящие к микро растрескиванию породы.

Распределение тепловых источников $q(e)$, возникающих за счет поглощения энергии ВЧ ЭМП, определяется из уравнения Умова-Пойнтинга и закона Бугера-Ламберта для монохроматической волны:

$$\nabla \vec{R} = \frac{\vec{R}}{L^{(e)}}, \quad q^{(e)} = -\nabla \vec{R}, \quad \frac{1}{L^{(e)}} = \frac{1}{2} \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon} (T, P, \omega) \operatorname{tg} \delta$$

где, R – вектор интенсивности излучения;

$L^{(e)}$ – длина поглощения, характеризующая степень поглощения энергии ЭМВ рассматриваемой средой;

ω – частота излучения ЭМВ;

ϵ_0, μ_0 – диэлектрическая и магнитная проницаемость вакуума;

$\epsilon' \operatorname{tg} \delta$ – диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь среды.

В качестве исходного материала были выбраны сульфидные рудные пробы месторождения «Кокпатас». Вещественный состав минералов и химических элементов определён рентгеноструктурным фазовым анализом с использованием рентгеноструктурного фазового анализа на дифрактометре «Empyrean» (Panalytical), сканирующего электронного микроскопа «SEM EVO MA 10» (Carl Zeiss) и минералого-петрографических методов. Результаты рентгеноструктурного фазового анализа: кварц, пирит, глаукопирит (леллингит), арсенопирит, кальцит, пирротин, калиевый полевой шпат (КПШ), плагиоклаз, доломит, фосфат, хлорит, цеолит, гипс, монтмориллонит, гидрослюда, каолинит, гематит, сфалерит, молибденит, магнетит, галенит, кобальтин, муллит, халькозин, ильменит, делафоссит, роговая обманка, глауконит, халькофиллит, халькопирит, кубанит, сульванит, хромит, ципрусит (синоним ярозит). В исследуемой руде постоянно присутствуют сростания золото содержащих сульфидов (пирит, арсенопирит) с халькопиритом, сфалеритом, тетраэдритом, марказитом и др. Спектральный анализ показал наличие следующих элементов: Cu, Pb, Zn, As, Ag, Sb, Ga, In, Mo, W, Ni, Co, Cr, V, Ti, Bi, Sn, Cd, Ge, Tl, Be, Li, Mn.

Содержание минералов: пирит – 3,4%, арсенопирит – 3,14%, углистого вещества и органического углерода 0,3%. Плотность – 2600 кг/м³, теплопроводность – 2,6 Вт/(м·К). Диэлектрическая проницаемость, Φ/m : вода – 81; кальцит – 8; сера – 4,1; кварц – 3,8; пирит – 40; арсенопирит – 85. Тангенс угла диэлектрических потерь: вода – 0,15; кальцит – 0,09; сера – 0,08; кварцит – 0,05; пирит – 0,2; арсенопирит – 0,2. Пористость – 0,06. Глубина скважины 5 м, диаметр 0,25 м. Мощность излучателя 1-3 кВт. Магнитная проницаемость вакуума $\mu_0 = 1,2566E-06$ Гн/м, диэлектрическая проницаемость вакуума $\epsilon_0 = 8,85E-12$ Ф/м. Сера: температура плавления равна 119,5^oC, температура кипения 444,67^oC, удельная теплота плавления равна 53,6 кДж/кг, удельная теплоёмкость 712 Дж/(кг·град), коэффициент теплопроводности 2,6 Вт/(м·К).

Таблица 1

К вопросу выбора резонансной частоты ВЧ ЭМВ от глубины залегания минералов

Глубина воздействия ЭМИ, м	Резонансная частота для минералов от глубины воздействия ЭМИ, ГГц					
	вода (3%), ГГц	кальцит (5%), ГГц	глина (3%), ГГц	кварцит (60%), ГГц	пирит (3,4%), ГГц	арсенопирит (3,14%), ГГц
0,25	3,5539	16,9628	21,2035	44,2613	3,7930	2,6020
0,50	1,7770	8,4814	10,6018	22,1307	1,8965	1,3010
0,75	0,8885	4,2407	5,3009	11,0653	0,9483	0,6505
1,00	0,5923	2,8271	3,5339	7,3769	0,6322	0,4337
1,25	0,4442	2,1204	2,6504	5,5327	0,4741	0,3252
1,50	0,3554	1,6963	2,1204	4,4261	0,3793	0,2602
1,75	0,2962	1,4136	1,7670	3,6884	0,3161	0,2168
2,00	0,2539	1,2116	1,5145	3,1615	0,2709	0,1859
2,25	0,2221	1,0602	1,3252	2,7663	0,2371	0,1626
2,50	0,1974	0,9424	1,1780	2,4590	0,2107	0,1446
3,00	0,1777	0,8481	1,0602	2,2131	0,1897	0,1301
3,25	0,1481	0,7068	0,8835	1,8442	0,1580	0,1084
3,50	0,1367	0,6524	0,8155	1,7024	0,1459	0,1001
3,75	0,1269	0,6058	0,7573	1,5808	0,1355	0,0929
4,00	0,1185	0,5654	0,7068	1,4754	0,1264	0,0867
4,25	0,1111	0,5301	0,6626	1,3832	0,1185	0,0813
4,50	0,1045	0,4989	0,6236	1,3018	0,1116	0,0765
4,75	0,0987	0,4712	0,5890	1,2295	0,1054	0,0723
5,00	0,0935	0,4464	0,5580	1,1648	0,0998	0,0685
5,25	0,0888	0,4241	0,5301	1,1065	0,0948	0,0650

На основе численных исследований с использованием исходных данных образцов руд месторождения «Кокпатас», рассчитаны резонансные частоты ВЧ ЭМВ на определённый минерал, от глубины пространственного залегания минералов, в котором тонко вкраплено золото (табл. 1, рис. 1).

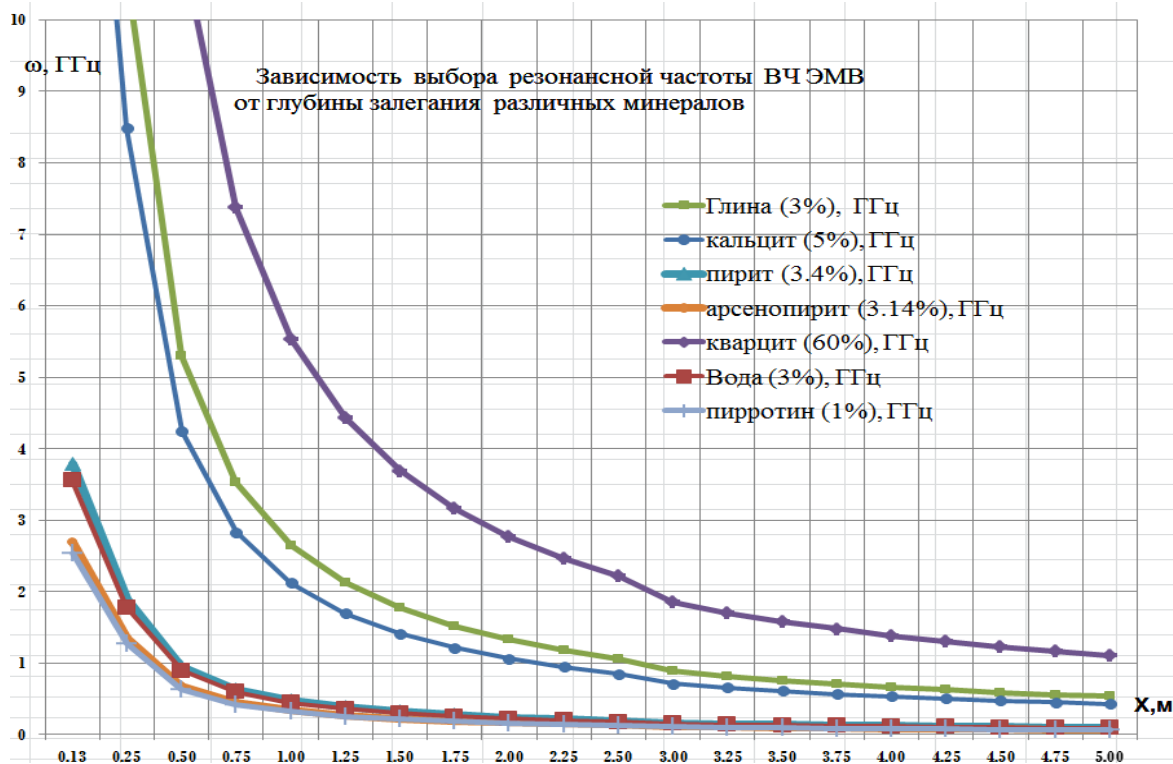


Рис. 1. К вопросу выбора резонансной частоты ВЧ ЭМВ от глубины залегания минералов

Следует, отметить, что выбор резонансной частоты ВЧ ЭМВ на определённый минерал существенно зависит от состава и содержания в нём химических элементов, температуры и глубины проникновения ЭМВ.

Экспериментальные исследования.

Проведённые лабораторные исследования показывают, что при воздействии электромагнитным импульсом СВЧ генератора мощностью 0,8-3 кВт происходит объёмное энергопоглощение и нагрев породы, кипение и испарение содержащейся в ней влаги.

Из-за разной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь и степени поглощения ЭМП минералами в каждом элементарном объёме происходит неоднородный нагрев минералов от нормальной температуры до сотен градусов (рис. 2, 3).

В частности, на исследуемых поверхностях минералов, как пирит и арсенопирит за счёт ЭМИ температура может достигать от 400 до 800°C. Железо (мгновенно), мышьяк взаимодействуют с СВЧ полем сначала на молекулярном, и серой на элементарном уровне.

На границах раздела фаз минералов возникают сильные термомеханические напряжения σ превышающие предел прочности $\sigma_{тп}$, порода растрескивается и разрушается. Способствует этому неоднородный нагрев за счёт разной поглощательной способности электромагнитной энергией химических элементов минерала, при котором вследствие перепада температуры ΔT в минерале возникают напряжения, равные $\sigma = \alpha \Delta T E$, где E – модуль Юнга, α – коэффициент термического расширения.

Таким образом, создание в минерале перепада температуры $\Delta T > \sigma_{тп} / \alpha E$, обеспечивает разрушение минерала.

Происходит дезинтеграция минеральных компонентов по межфазным границам с образованием микротрещин и каналов (рис. 4).

Происходит перераспределение концентрации влаги по объёму, локализация зон интенсивного поглощения энергии поля на участках повышенной влажности, резкая интенсификация испаре-

ния и возникновение разрушающих давлений пара, которые совместно с термическими напряжениями, приводят к росту микро-трещин.

Со временем температура в каждом элементарном объёме выравнивается.

Горная порода нагревается и расслаивается «взрывным» разрушением горных пород с образованием и развитием трещин за счёт совместного действия термических напряжений и парового давления паров, возникающих при фазовом переходе содержащейся

в породе влаги вследствие поглощения ею ЭМ энергии, упрощается дальнейшее отделение металлических включений от пустой породы (рис. 5).

Исходная руда представляла собой темно-серую окраску, содержание углистого вещества и органического углерода 0,3%. Исходный кальцит представляет собой синевато-зелено-темноватый цвет, из-за наличия в нём пирита и углистого вещества, и в процессе воздействия ЭМИ приобретает серо-белый цвет. Происходит отделение пирита от кальцита и выгорание углерода.

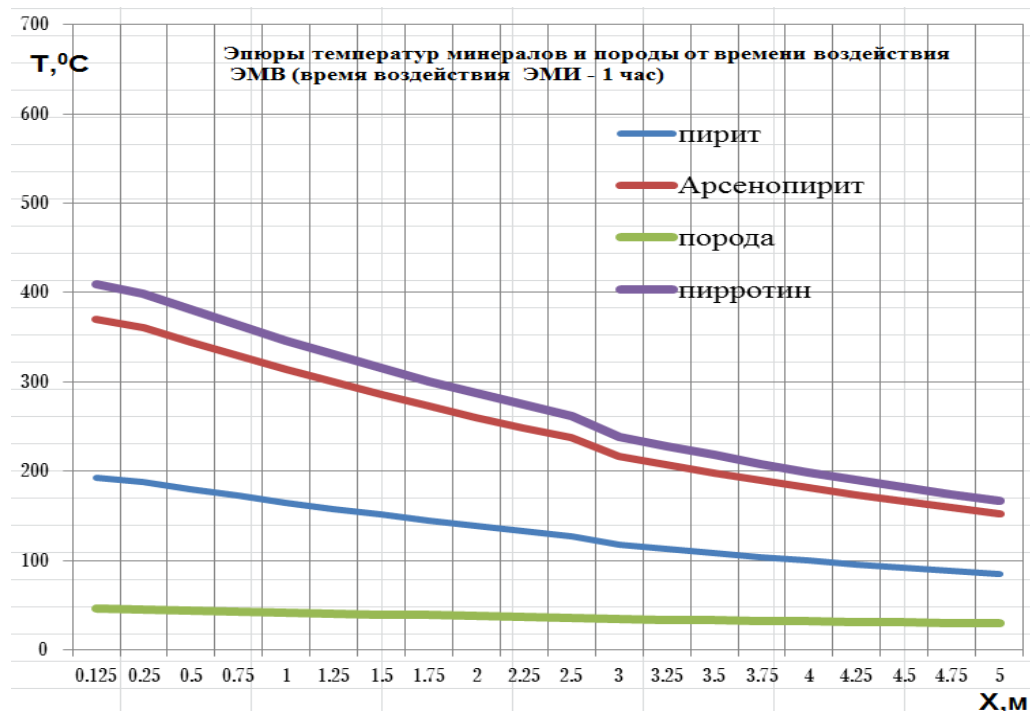


Рис. 2. Эпюры температур минералов от воздействия ВЧ ЭМВ в течение 1 ч

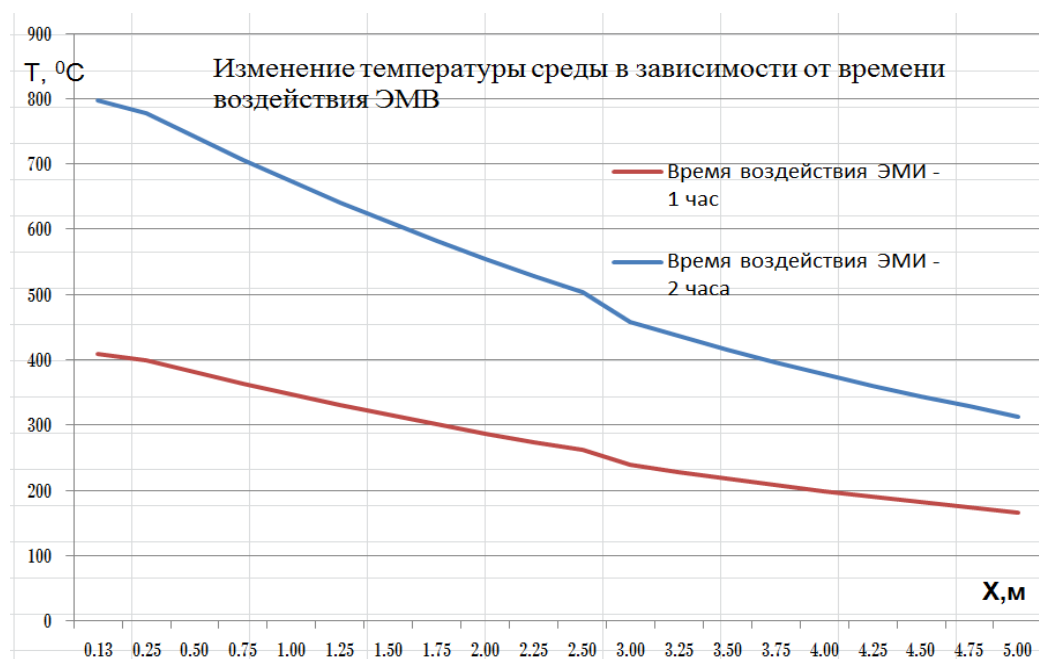


Рис. 3. Эпюры температур минералов от воздействия ВЧ ЭМВ в течение 2 ч



Рис. 4. Вид куска руды месторождения «Кокпатас» после 30 минутной обработки ВЧ ЭМВ: 1 – арсенипирит; 2 – пирит



Рис. 6. Вид части расплавленной, испаренной и кристаллизованной на поверхности серы и мышьяка в соединении с окислами железа после 90 мин обработки ВЧ ЭМВ руды «Кокпатас»



Рис. 5. Вид пробы флотоконцентрата руд «Кокпатас», после 60 минутной обработки ВЧ ЭМВ

Кварцит почти не меняет окраску. Мышьяк от минералов освобождается, возможно, часть вступает во взаимодействие с окислами железа, образуя арсенаты двух- и трехвалентного железа $Fe_3(AsO_4)_2$ и $FeAsO_4$. Либо переходит в твердое состояние в виде кристаллов серовато-зеленого скородита $FeAsO_4$. Сера и часть мышьяка также отделяется от сульфидных минералов, испаряются

и возможно образуют моносульфид мышьяка AsS или сульфид мышьяка As_2S_2 (рис. 6).

Экспериментальные лабораторные исследования с облучением в высокочастотном электро-магнитном поле были проведены в условиях ЦЛ КИПиА РУ ГМЗ-1.

Для проведения исследований были отобраны 27 образцов проб, которые были облучены в ВЧ ЭМВ в разных временных интервалах и переданы для химического и минералогического анализа в ЦНИЛ АО «НГМК» (табл. 2). До передачи в ЦНИЛ информация о пробах (месторождение, обработка и время облучения) было зашифрована. По результатам химического анализа ЦНИЛ можно сделать вывод о том, что номера и состав проб соответствует исходным продуктам и концентратам обогащения. Пробы № 1, 2 и 8-12 имеют в составе значительное количество мышьяка, сурьмы, карбоната, углистых веществ – относятся к рудам месторождения «Кокпатас» и «Даугызтау». Результаты химического анализа представлены в табл. Пробы № 1, 2 и 8-12 имеют в составе значительное количество мышьяка, сурьмы, карбоната, углистых веществ – относятся к рудам месторождения «Кокпатас» и «Даугызтау».

Таблица 2

Перечень и номера проб переданные для анализа в ЦНИЛ

Номер пробы	Месторождение	Наименование проб	Время облучения, мин	Вес, кг
IS № 1	Кокпатас	руда исходная	0	1,39
IS № 2	Даугызтау	руда обработанная	20	1,415
IS № 3	Кокпатас	концентрат исходный	0	1,3
IS № 4	Даугызтау	концентрат обработанный	30	1,31
IS № 5	Кокпатас + Даугызтау	концентрат исходный	0	1,62
IS № 6	Амантайтау	концентрат исходный	0	1,875
IS № 7	Каракутан	концентрат обработанный	60	1,835
IS № 8	Кокпатас	руда обработанная	30	2,71
IS № 9	Кокпатас	руда обработанная	50	2,39
IS № 10	Даугызтау	руда обработанная	30	2,75
IS № 11	Даугызтау	руда исходная	0	2,495
IS № 12	Даугызтау	руда обработанная	50	2,17
IS № 13	Даугызтау	концентрат исходный	0	1,44
IS № 14	Даугызтау	концентрат обработанный	20	1,57
IS № 15	Даугызтау	концентрат обработанный	10	1,4
IS № 16	Кокпатас	концентрат обработанный	30	3,44
IS № 17	Кокпатас	концентрат обработанный	40	1,575
IS № 18	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	30	1,74
IS № 19	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	90	1,595
IS № 20	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	60	2,24
IS № 21	Амантайтау	концентрат обработанный	60	1,475
IS № 22	Амантайтау	концентрат обработанный	120	1,7
IS № 23	Каракутан	концентрат обработанный	120	1,64

НАУЧНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Результаты химического анализа представлены в табл. 3

При изучении минерального состава основное внимание было уделено главным рудным минералам, соотношениям между рудными и другими минералами, в частности, продуктам преобразования сульфидов окислам и гидроокислам железа, пирротинном, магнетитом и гематитом.

Минералогический анализ проб (рис. 7):

Проба № 2. Руда «Даугызтау». Обработка СВЧ – 20 мин. Количество сульфидов составляет: арсенинит ~ 0,2%, пирит – 1,4%, антимонит, халькопирит – ед. зерна. Количество карбонатов ~ 15%. Степень окисления сульфидных минералов железа в среднем составляет ~ 30%.

Таблица 3

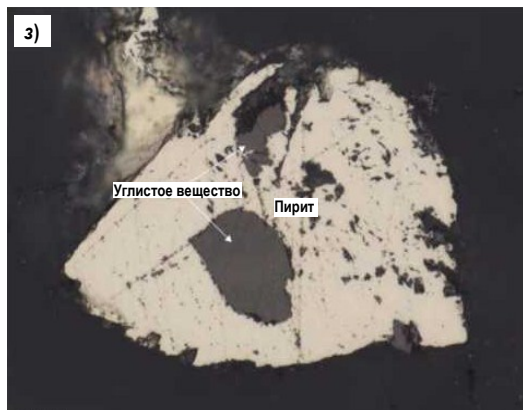
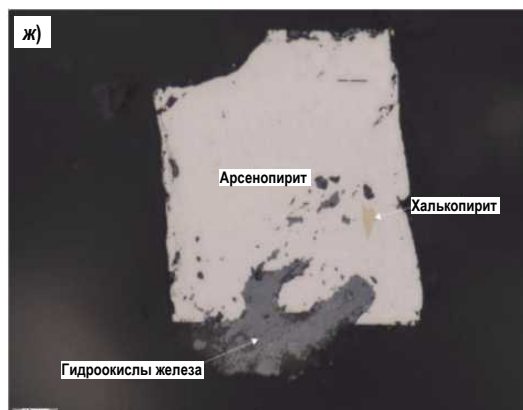
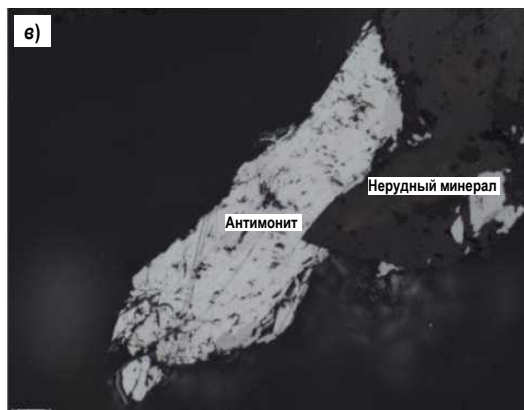
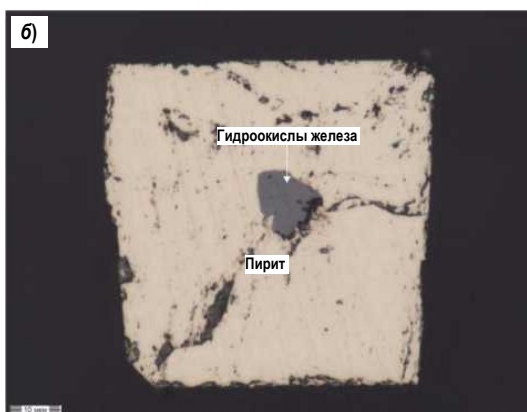
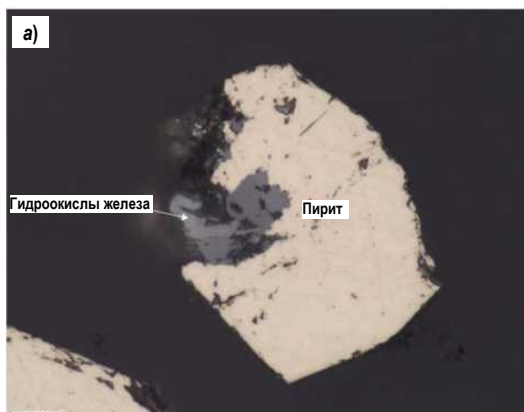
Химический анализ исходных проб

№ проб	Месторождение	Наименование проб	Содержание, %								
			Au, г/т	S _{общ}	Ss	C _{общ}	C _{орг}	Co ₂	As	Sb	Fe _{общ}
IS № 1	Кокпатас	руда исходная	1,34	1,5	1,2	1,8	<0,1	6,3	0,3	<0,005	5,6
IS № 2	Даугызтау	руда обработанная	1,04	1,1	0,8	1,3	0,2	4	<0,09	0,1	3,3
IS № 3	Кокпатас	концентрат исходный	16,2	19,5	15	2,8	1,9	3,3	>1,0	0,35	14,2
IS № 4	Даугызтау	концентрат обработанный	17,66	16,7	14	3,6	3,1	1,8	0,9	0,61	11,5
IS № 5	Кокпатас + Даугызтау	концентрат исходный	18,92	20,2	17	2,7	2,1	2,2	>1,0	0,67	14,3
IS № 6	Амантайтау	концентрат исходный	16,34	10,1	8,4	1,4	1,2	0,7	0,6	0,06	8,2
IS № 7	Каракутан	концентрат обработанный	188,98	19,4	16	3,6	3	2,2	>1,0	0,17	14,1
IS № 8	Кокпатас	руда обработанная	0,89	6,5	5,6	1,6	<0,1	5,5	0,2	0,03	4,8
IS № 9	Кокпатас	руда обработанная	4,39	5,1	1,7	1,6	0,3	4,9	0,4	0,02	4,4
IS № 10	Даугызтау	руда обработанная	2,35	1,3	0,7	1,3	0,2	3,9	0,2	0,63	2,7
IS № 11	Даугызтау	руда исходная	1,24	0,94	0,6	1,2	0,2	3,7	0,2	0,01	3,5
IS № 12	Даугызтау	руда обработанная	0,54	0,75	0,5	1,1	0,2	3,5	0,1	0,01	3,8
IS № 13	Даугызтау	концентрат исходный	15,78	15,2	13	3,5	3,2	1,1	0,8	0,55	11,6
IS № 14	Даугызтау	концентрат обработанный	17,18	15,9	14	3,6	3,2	1,5	0,9	0,68	11,4
IS № 15	Даугызтау	концентрат обработанный	18	16,4	14	3,5	3,2	1,1	1	0,88	12,1
IS № 16	Кокпатас	концентрат обработанный	17,10	19,1	15	2,7	1,8	3,3	>1,0	0,33	14,3
IS № 17	Кокпатас	концентрат обработанный	16,98	18,7	16	2,6	1,7	3,3	>1,0	0,31	14
IS № 18	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	20,26	20,6	16	2,6	2,1	1,8	>1,0	0,66	13,8
IS № 19	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	22,34	20,2	15	2,6	2,2	1,5	>1,0	0,66	14,6
IS № 20	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	20,81	20,2	17	2,6	2,1	1,8	>1,0	0,66	14,7
IS № 21	Амантайтау	концентрат обработанный	16,18	11,4	8,3	1,1	1	0,4	0,7	0,06	8,6
IS № 22	Амантайтау	концентрат обработанный	18,01	10,8	8,1	1,2	1,1	0,4	0,7	0,06	9
IS № 23	Каракутан	концентрат обработанный	184,81	19,1	15	2,9	2,7	0,7	>1,0	0,17	13,9
IS № 24	Амантайтау	концентрат обработанный	19,77	11,8	9,2	1,3	1,2	0,4	0,8	0,07	9,6

Таблица 4

Результаты сорбционного цианирования направленных проб (время цианирования – 24 ч)

№ пробы	Месторождение	Наименование пробы	Концентрация NaCN, мг/л		pH	Содержание Au, г/т		Извлечение Au, %	Время облучения, мин в ВЧ ЭМП	Расход реагентов, кг/т	
			нач.	кон.		Au, г/т	в хвостах сорбции, г/т			NaCN	CaO
			IS № 1	Кокпатас		руда исходная	1000			800	10,6
IS № 8	Кокпатас	руда обработанная	1000	1000	10,5	0,89	0,58	34,8	30	4,31	1,81
IS № 9	Кокпатас	руда обработанная	1000	1000	10,7	4,39	1,17	73,3	50	5,44	2,75
IS № 11	Даугызтау	руда исходная	1000	1000	10,6	1,24	1,22	1,61	0	4,2	3,91
IS № 2	Даугызтау	руда обработанная	1000	900	10,7	1,04	0,86	17,3	20	4,91	2,44
IS № 10	Даугызтау	руда обработанная	1000	1000	10,5	2,35	1,54	34,5	30	5,7	2,98
IS № 12	Даугызтау	руда обработанная	1000	800	10,8	0,54	0,27	50,0	50	4,72	3,22
IS № 3	Кокпатас	концентрат исходный	1000	800	10,8	16,2	13,46	16,9	0	6,43	4,3
IS № 16	Кокпатас	концентрат обработанный	1000	1000	10,6	17,10	14,19	17,02	30	5,6	3,12
IS № 17	Кокпатас	концентрат обработанный	1000	1000	10,6	16,98	13,75	19,02	40	5,44	3,84
IS № 13	Даугызтау	концентрат исходный	1000	800	10,8	15,78	13,7	13,18	0	6,91	7,95
IS № 15	Даугызтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,6	18	14,97	14,55	10	6,78	7,31
IS № 14	Даугызтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,6	17,18	14,5	15,6	20	6,88	5,16
IS № 4	Даугызтау	концентрат обработанный	1000	800	10,8	17,66	14,86	15,9	30	6,91	4,8
IS № 5	Кокпатас + Даугызтау	концентрат исходный	1000	900	10,5	18,92	18,10	4,3	0	7,36	4,01
IS № 18	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,6	20,26	18,35	9,43	30	7,82	4,9
IS № 20	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,5	20,81	18,59	10,67	60	7,1	3,18
IS № 19	Кокпатас + Даугызтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,6	22,34	19,37	13,29	90	5,51	4,9
IS № 6	Амантайтау	концентрат исходный	1000	1000	10,5	16,34	8,48	48,1	0	7,76	8,1
IS № 21	Амантайтау	концентрат обработанный	1000	900	10,6	16,18	8,04	50,31	60	7,82	10
IS № 24	Амантайтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,7	19,77	9,74	50,73	90	8,6	7,6
IS № 22	Амантайтау	концентрат обработанный	1000	1000	10,8	18,01	8,28	54,02	120	7,94	8,3
IS № 7	Каракутан	концентрат обработанный	1000	1000	10,5	188,98	5,26	97,2	60	5,38	2,5
IS № 23	Каракутан	концентрат обработанный	1000	1000	10,7	184,81	3,57	98,07	120	9,38	3,62



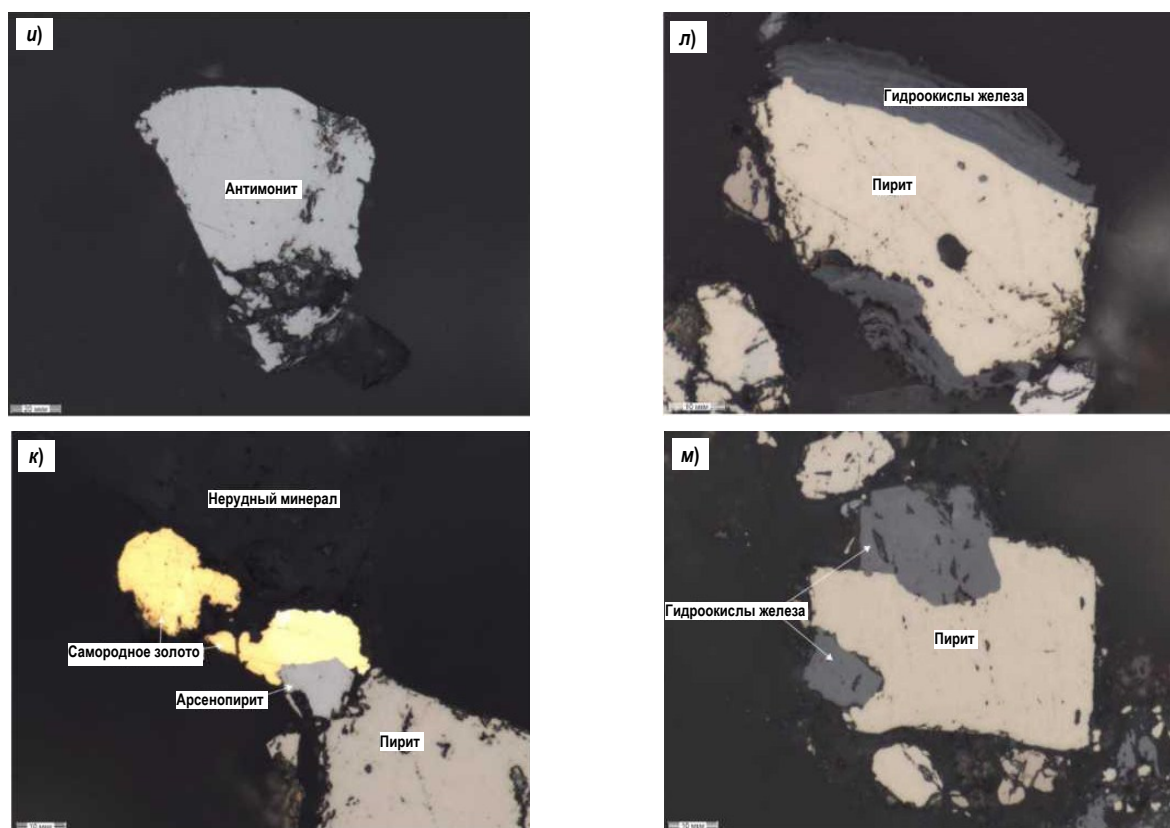


Рис. 7. Минералогический анализ проб: а, б, в, г – руда «Даугызтау» (проба № 2); д, е – концентрат «Кокпатас» (проба № 3); ж, з – концентрат «Даугызтау» (проба № 4); и, к – концентрат шихта «Кокпатас» и «Даугызтау» (проба № 19); л, м – концентрат «Каракутан» (проба № 23)

Проба № 3. Концентрат «Кокпатас». Без обработки. Количество сульфидов составляет: арсенопирит ~ 3,2%, пирит ~ 26%, антимонит, халькопирит – ед. зерна. Количество карбонатов – 12%. Количество углистого вещества составляет – 3,1%. Степень окисления сульфидных минералов железа в среднем составляет – 55%. Интенсивное развитие гидроокислов железа зерно халькопирита в сростании с нерудным по сростку пирита и арсенопирита минералом.

Проба № 4. Концентрат «Даугызтау». Обработка СВЧ – 30 мин. Количество сульфидов составляет: арсенопирита ~ 1,9%, пирита ~ 25%, халькопирит, сфалерит антимонит и др. ед. зерна. Количество карбонатов ~ 6,5%. Количество углистого вещества составляет ~ 3,1%. Степень окисления сульфидных минералов железа в среднем составляет ~ 15-20%. Проба № 19. Концентрат – шихта «Кокпатас» и «Даугызтау». Обработка СВЧ – 90 мин. Количество сульфидов составляет: арсенопирита ~ 3,5%, пирита ~ 28%, блеклые руды, антимонит, халькопирит и др. – ед. зерна. Количество карбонатов ~ 5,5%. Количество углистого вещества составляет ~ 2,2%. Степень окисления сульфидных минералов железа составляет ~ 40-45%. Проба № 23. Концентрат – «Каракутан». Обработка СВЧ- 120 мин. Количество сульфидов составляет: арсенопирита ~ 3,0%, пирита ~ 27%, антимонит, халькопирит и др. - ед. зерна. Количество карбонатов ~ 8%. Количество углистого вещества составляет ~ 2,7%. Степень окисления сульфидных минералов железа составляет ~ 20%.

Далее материал, был направлен на определение доли свободного цианируемого золота при прямом сорбционном цианировании, в режиме рационального анализа: время цианирования – 24 ч, загрузка смолы – 3%, концентрация цианида равна 1 г/л. Так как, материал подвергался СВЧ обработке, то вскрытие золота можно было наблюдать по изменению доли свободного цианируемого золота (см. табл. 4 (IS № 1, IS № 8, IS № 9)). По результатам исследований можно сделать вывод, что доля свободного цианируемого золота изменяется в широком пределе от 1,61% (проба № 11) до 98,07% (проба № 23).

Основные выводы.

1. При СВЧ обработке руды происходит объемное энергопоглощение и нагрев породы, происходит неоднородный нагрев минералов от нормальной температуры до сотен градусов (рис. 2 и 3). В частности, на исследуемых поверхностях минералов, как пирит и арсенопирит за счет ЭМИ температура может достигать от 400 до 800°C.

2. На границах раздела фаз минералов возникают сильные термомеханические напряжения, что обеспечивает разрушение минерала. Происходит дезинтеграция минеральных компонентов по межфазным границам с образованием микротрещин и каналов. Упрощается дальнейшее отделение металлических включений от пустой породы.

3. По результатам исследований можно сделать вывод, что после СВЧ обработки доля свободного цианируемого золота увеличивается.

Библиографический список:

1. Усманов Р.И. К вопросу вскрытия золота из особо упорных сульфидных золотомышьяковых руд на месте его естественного залегания резонансным воздействием ВЧ ЭМВ // Горный вестник Узбекистана, 2020, №1(80). – С. 41-46.
2. Усманов Р.И. К вопросу вскрытия золота из особо упорных золотомышьяковых руд резонансным воздействием ВЧ ЭМВ на месте его естественного залегания // Многофазные системы. – Москва, 2020 – Т. № 1-2. – С. 101.