



## BIOOKSIDLASH JARAYONIDA BOSHLANG'ICH RUDANING MINERALOGIK TARKIBIDAGI O'ZGARISHLAR

**Sharipov San'at Shuhrat o'g'li** - texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, E-mail: element\_2993@mail.ru

**Annotatsiya.** Maqolada bakterial oksidlanish jarayonida minerallarning o'zgarishi, tarkibi tahlil qilingan. Tabiatdagi qimmatbaho metallar ma'lum bo'lgan ruda minerallarining bir qismi hisoblanadi. Amaliyot shuni ko'rsatadiki, metallni boyitish va qazib olish uchun ma'dan tarkibidan maksimal miqdordagi metallni ajratib olish imkon beradigan hamda shu bilan birga minimal xarajatlarni talab etadigan texnologiyalarni yaratish talab etiladi. Maqolada minerallarning tarkibi haqida ma'lumot berilgan.

**Kalit so'zlar.** Mineral, ruda, pirit, arsenopirit, kvarts, kislotali muhit, qimmatbaho metallar, OQP, bakterial qayta ishlash.

## ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ИСХОДНОГО РУДЫ В ПРОЦЕССЕ БИООКСИДЛЕНИЯ

**Шарипов Санъат Шухрат угли** – док. фил. по тех. наукам (PhD), доцент, Навоийский государтсвенный горно-технологический университет, E-mail: element\_2993@mail.ru

**Аннотация.** В статье проанализированы составы изменения минералов в процессе бактериального окисления. Благородные металлы в природе находятся в составе определенных рудных минералов. Практика доказывает, что для обогащения и извлечения металла требуются технологии, позволяющие максимальном количестве извлекать металл из состава руды, но при этом расходуя минимальное количество затрат. Статья дает информацию о составах минералов.

**Ключевые слова.** Минерал, руда, пирит, арсенопирит, кварц, кислотная среда, благородные металлы, ОВП, бактериальное выщелачивание.

## CHANGES IN THE MINERALOGICAL COMPOSITION OF THE INITIAL ORE IN THE PROCESS OF BIOOXIDATION

**Sharipov Sanat Shukhrat ugli** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Navoi State University of Mining and Technology, E-mail: element\_2993@mail.ru

**Annotation.** The article analyzes the compositions of mineral changes in the process of bacterial oxidation. Noble metals in nature are found in the composition of certain ore minerals. Practice proves that for the enrichment and extraction of metal, technologies are required that allow the maximum amount of metal to be extracted from the ore composition, but at the same time I spend the minimum amount of costs. The article provides information about the composition of minerals.

**Keywords.** Mineral, ore, pyrite, arsenopyrite, quartz, acidic medium, precious metals, ORP, bacterial leaching.



**Введение.** Минеральные руды по своему существу резко отличаются от своего состава и конечно же расположением на поверхности земной коры [1-3]. При этом изменении составов руд тесно связано с природными и погодными условиями, которые действуют как внешний фактор в образование минералов.

В металлургических заводах всегда существовала тенденция, связанная максимальным извлечением ценных компонентов, которая на сегодняшний день обретает остроту в условиях истощения запасов минеральных руд. Создание технологии позволяющей попутно извлекать экономически выгодные вещества из состава технологических процессов является главным вопросом инновационной технологии.

Золотосодержащие руды в основном сконцентрированы в виде сульфидных минералов. В составе, которых содержится в основном пирит, арсенопирит, халькопирит и др. Основная часть этих минералов на своем составе содержит существенное количество ионов железа, серы и мышьяка [4-7].

**Объект и методы исследования.** Материалом исследования служили образцы проб из ректоров БИОКС.

В исследование кроме типичных аналитических методов, также применялись комплексные методы анализа, выполненные на оборудовании: Порошковый рентгеновский диффрактометр «Panalytical Empyrean», порошковый рентгеновский диффрактометр «Shimadzu XRD-6100» и сканирующий электронный микроскоп (Carl Zeiss, Германия) с энерго-дисперсионным элементным анализатором (Oxford Instruments, Великобритания).

**Полученные результаты и их обсуждение.** Микроорганизмы являются важным эволюционным звеном, катализирующим появление новых минеральных соединений и ускоряющим формообразование. Как известно биохимические реакции, происходящие в период биологического окисления сульфидных минералов, могут протекать либо по прямому, либо по косвенному механизму. Прямой механизм требует тесного физического контакта между бактериями и поверхностью минерала, чтобы обеспечить прикрепление бактерий к минералу, в то время как косвенный механизм включает действие бактериально-генерируемого сульфата железа (III). Ионы железа находятся, в основном, в составе рудных минералов - пирита ( $\text{FeS}_2$ ) и арсенопирита ( $\text{FeAsS}$ ), также в составе фаялита ( $\text{Fe}_2[\text{SiCl}_4]$ ).

Атомы железа в составе сульфидных минералов находятся в двухвалентной форме. При бактериальном выщелачивании в реакторах окисления в сернокислой среде они переходят в раствор в виде сульфатов двух и трехвалентного железа. В процессе бактериального выщелачивания сульфидная сера пирита окисляется до сульфатной, а закисное железо до окисного и образуется два продукта; сернокислое окисное железо и серная кислота.

Сернокислое окисное железо химически окисляет пирит и арсенопирит, образовав сульфат закисного железа и элементарную серу. Закисное железо вновь окисляется бактериями до окисного, которое может расходоваться как окислитель пирита и арсенопирита.

Ведущая роль в осуществлении рассмотренных превращений принадлежит тионовым бактериям *T.ferrooxidans*, окисляющим сульфиды и закисное железо *T.thiooxidans*, окисляющим элементарную серу.

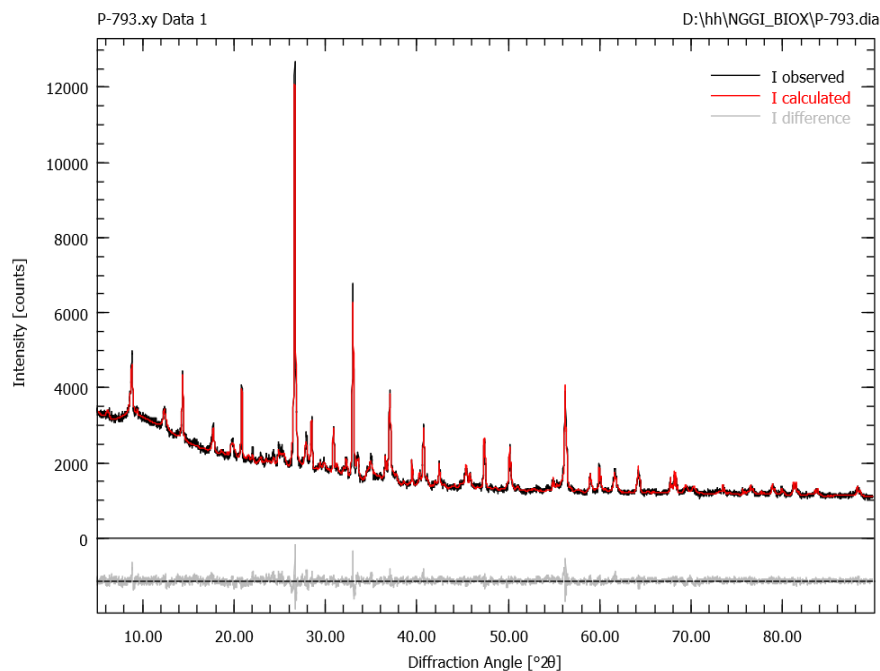
Для уточнения изменения минералов нами были изучены минералогические составы твердой части процесса бактериального окисления, в том числе изменения концентрации пирита ( $\text{FeS}_2$ ), арсенопирита ( $\text{FeAsS}$ ), стибнита ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), ярозита ( $\text{MFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ), современными физико-химическими методами анализа.

Пробы отбирали из опытного реактора объемом 50 л. Для пуска реактора использовано 34 литра инокулянта из модуля №1 биоокисления с pH - 1,32, плотностью - 1100 г/л.

Флотоконцентрат был отобран из УПС (узел подготовки сырья) в количестве 20 л, с плотностью 1335 г/л, содержанием общей серы – 17,8 %, сульфидной серы – 14,13 %, общего углерода – 2,47 %, органического углерода – 1,34% (проба № 793).

Инокулят был загружен в реактор и каждые 2 часа была организована подача 1 литра флотоконцентрата. После запуска реактора были отобраны пробы исходя из рН среды: флотоконцентрат рН-8,2 проба №793; биокек рН-1,39 проба 842; биокек рН-1,42 проба 843; биокек рН-1,37 проба 869; биокек 1,40 проба 870; биокек рН-1,34 проба 917, эти образцы проб отбирались из лабораторного модуля реакторов ГМЗ-3, ГТИ Л-1; ГТИ Л-2; ГТИ Л-3; ГТИ Л-4; ГТИ Л-5; ГТИ Л-6.

Образцы из опытного реактора были изучены методами электронной микроскопии с энерго-дисперсионным детектором для полуколичественного элементного анализа и рентгенофазового анализа, результаты, которых приведены на рис.1.



**Рис.1. Рентгенограмма образца опытного реактора (флотоконцентрат рН-8,2 проба №793)**

Рентгенофазовый анализ методом Риетвелда производился на программном обеспечении «Profex-Open source XRD and Reitveld Refinement», результаты которого представлены в табл.3.7.

Также рентгенофазовым анализом исследованы другие образцы флотоконцентрата: рН-8,2 проба №793; биокек рН-1,39 проба 842; биокек рН-1,42 проба 843; биокек рН-1,37 проба 869; биокек 1,40 проба 870; биокек рН-1,34 проба 917.

Дифрактограммы вышеуказанных образцов обработаны также методом Риетвелда, обобщенные результаты которых представлены в табл. 1.

*Таблица 1. Полуколичественный минералогический состав образца №793*

№	Наименование минерала	Химическая формула минерала	Содер., (%)
1.	Пирит	FeS <sub>2</sub>	13,7
2.	Кварц	SiO <sub>2</sub>	16,9
3.	Мусковит	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) (OH) <sub>2</sub>	30,2
4.	Клинохлор	Mg <sub>5</sub> Al (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) (OH) <sub>8</sub>	0,85
5.	Кальцит	CaCO <sub>3</sub>	1,51



6.	Анортит	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	11,4
7.	Арсенопирит	$\text{FeAsS}$	3,27
8.	Монтчеллит	$\text{CaMgSiO}_4$	4,27
9.	Анкерит	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}) [\text{CO}_3]_2$	3,2
10.	Диккит	$\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5] (\text{OH})_4$	3,04
11.	Хлорит2b	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$	6,33
12.	Тальк	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	1,27
13.	Графит	$\text{C}$	4,05

В табл.2 представлены результаты минералогического анализа твердых образцов, пронумерованных в лаборатории ГТИ ГМЗ-3.

Состав минералов довольно многообразный, представленный, в основном, превращениями породообразующих минералов. Действительно, микроорганизмы, в большинстве своем, взаимодействовали с породообразующими, аксессуарными и рудными минералами.

Если пирит, арсенопирит, мусковит, рутил, ярозит, молибденит относятся к рудным минералам, то подавляющее большинство минералов были породообразующими – кварц, полевой шпат, диккит, кальцит, гипс, анкерит и др. В количественном выражении именно породообразующие минералы подверглись воздействию микроорганизмов.

Таблица 2. Сводный минералогический состав отобранных твердых образцов №793, №842, №843, №869, №870 и №917

№	Наименование Минерала	Образцы					
		№793	№842	№843	№869	№870	№917
1.	Пирит	13,7	4,10	5,73	3,76	28,28	1,79
2.	Кварц	16,9	31,32	30,93	28,26	28,28	28,07
3.	Мусковит	30,2	40,65	42,06	40,47	33,74	45,07
4.	Клинохлор	0,85	-	0,63	1,62	1,7	-
5.	Анортит	11,4	7,89	10,44	10,4	12,82	10,68
6.	Арсенопирит	3,27	2,01	1,84	0,37		
7.	Диккит	3,04	1,06	0,81	1,72	1,11	0,44
8.	Хлорит2b	6,33	2,45	1,9	2,57	2,52	2,48
9.	Графит	4,05	1,3	1,68	2,95	4,75	1,48
10.	Гипс	-	1,21	-	-	1,27	1,36
11.	Рутил	-	0,98	-	0,58	-	-
12.	Каолин	-	0,75	-	1,11	2,54	1,14
13.	Гидрониумярозит	-	0,243	0,25	-	0,73	0,32
14.	Ярозит	-	3,74	3,28	4,16	3,24	3,12
15.	Анатаз	-	0,739	-	1,19	1,709	1,052
16.	Накрит	-	1,55	0,46	0,79	1,86	-
17.	Молибденит	-	-	-	-	0,062	0,031
18.	Гидроталькит	-	-	-	-	-	2,97
19.	Кальцит	1,51	-	-	-	-	-
20.	Монтчеллит	4,27	-	-	-	-	-
21.	Анкерит	3,2	-	-	-	-	-
22.	Тальк	1,27	-	-	-	-	-

Самым интересным моментом исследований было максимальное изменение алюмосиликатных минералов.

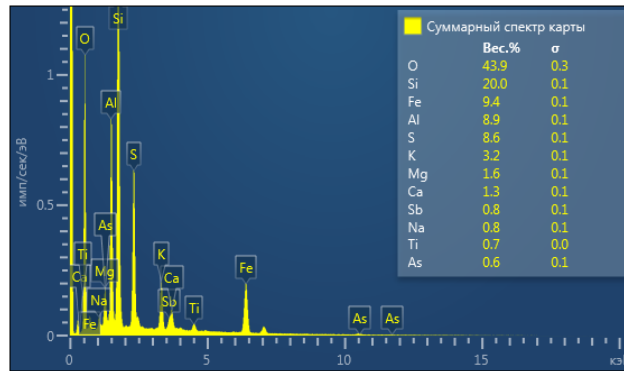


Рис. 2. Полуколичественный элементный состав, полученный из поверхности образца №793 и соответствующий энерго-дисперсионный спектр

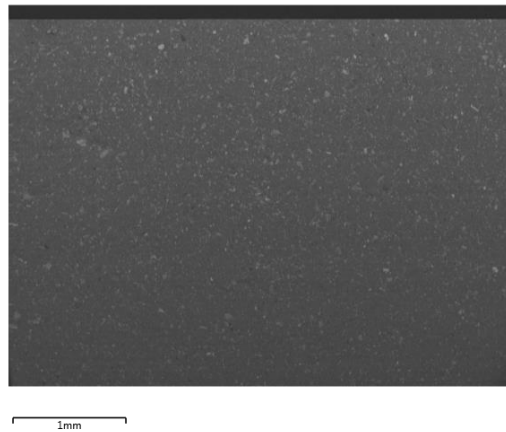
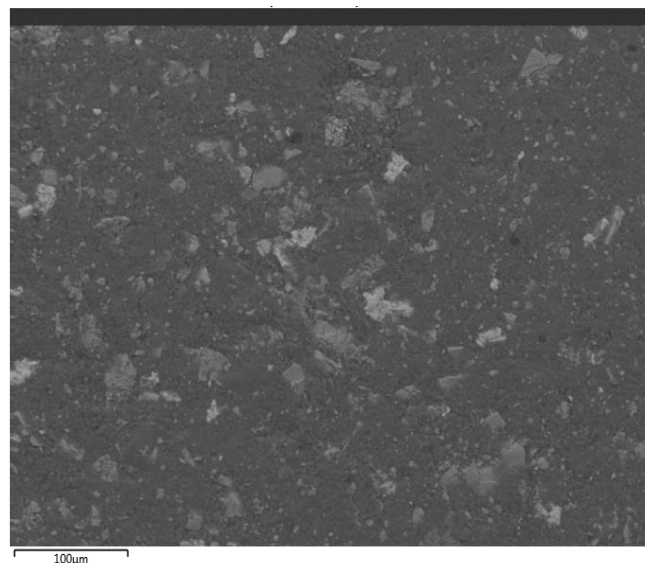


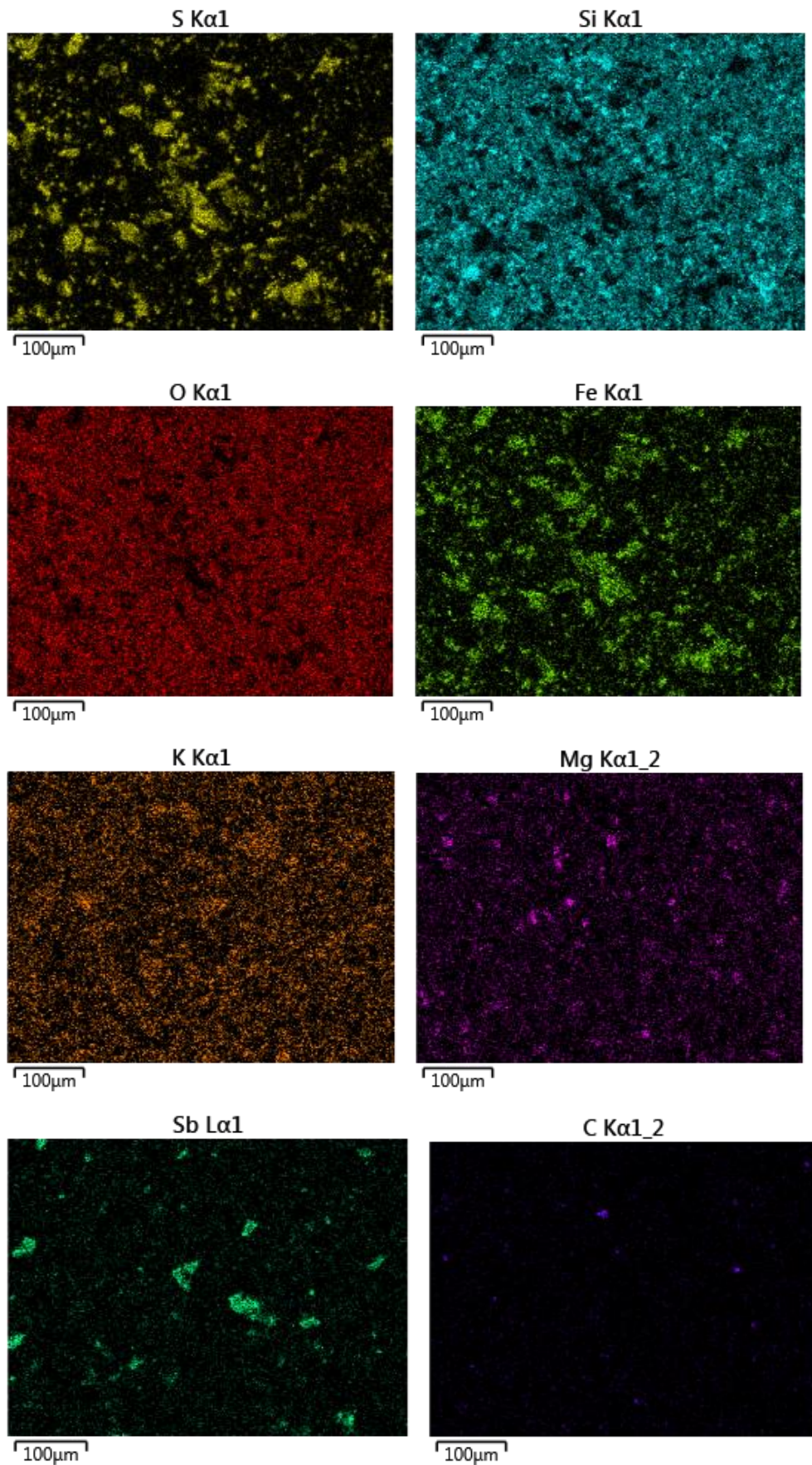
Рис. 3. Изображение поверхности образца №793, полученное на электронном микроскопе с наименьшим увеличением

Анализ результатов исследования показывает, что количество пирита изменяется в образцах от 13,7% до 1,79%, а арсенопирита от 3,27% до 0,37%, а в образцах №870 и № 917 наблюдается отсутствие следов арсенопирита. Эти результаты показывают, что образование серной кислоты, в основном идет за счет окисления арсенопирита и пирита.

Также сканирующим электронным микроскопом определены элементный состав отобранных твердых образцов №793, №842, №843, №869, №870 и №917, результаты которых представлены на рис.2-3 и в табл. 3.

Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %
O	43,93	0,25
Na	0,76	0,06
Mg	1,64	0,06
Al	8,89	0,09
Si	19,96	0,13
S	8,61	0,09
K	3,24	0,06
Ca	1,34	0,06
Ti	0,74	0,05
Fe	9,41	0,13
As	0,64	0,12
Sb	0,85	0,14
Сумма:	100,00	





**Рис. 4. Изображение №1 поверхности образца №793 полученное на электронном микроскопе с увеличением в 500 раз**



Анализ энерго-дисперсионного спектра (рис.4) показывает, что, образец № 793 состоит, в основном, из кислорода -43,9%, кремния - 20,0%, железа- 9,4%, алюминия-8,9%, серы -8,6, мышьяка -0,6% и других элементов.

Таблица 3. Сводный элементный состав отобранных твердых образцов №793, №842, №843, №869, №870 и №917 полученных сканирующим электронным микроскопом

№ п/п	Название элемента	Нумерация образцов					
		№ 793	№ 842	№ 843	№ 869	№ 870	№ 917
		Вес, %	Вес, %	Вес, %	Вес, %	Вес, %	Вес, %
1.	O	43,93	48,55	48,65	49,78	42,04	50,20
2.	Na	0,76	0,71	0,71	0,78	0,43	0,74
3.	Mg	1,64	1,28	1,27	1,40	0,86	1,30
4.	Al	8,89	10,41	10,40	10,85	6,74	10,60
5.	Si	19,96	23,20	23,49	24,06	14,15	23,85
6.	S	8,61	2,55	3,53	2,62	2,33	1,90
7.	K	3,24	3,63	4,00	3,99	2,64	4,08
8.	Ca	1,34	0,29	0,34	0,17	0,53	0,06
9.	Ti	0,74	0,82	0,84	0,86	0,52	0,85
10.	Fe	9,41	4,72	5,51	4,69	3,31	3,99
11.	As	0,64	0,64	0,61	0,49	0,16	0,16
12.	Sb	0,85	0,96	0,54	0,31	-	-
13.	In	-	1,51	-	-	-	-
14.	C	-	0,71	-	-	26,28	-
15.	P	-	-	0,11	-	-	-
16.	N	-	-	-	-	-	2,26
	Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Сопоставление элементного состава отобранных твердых образцов №793, №842, №843, №869, №870 и №917, полученных сканирующим электронным микроскопом, также подтверждает образование серной кислоты, в основном, из арсенопирита и пирита. Например, содержание элементарной серы уменьшается от 8,61% до 1,90%, а содержание мышьяка от 0,64% до 0,16% (табл. 3).

Таким образом, образование серной кислоты в процессе бактериального окисления флотоконцентрата обосновано тем, что окислению подвергается в начале минерал арсенопирит, а далее идет окисление пирита и других серосодержащих минералов.

**Заключение.** Анализ результатов полученных из образцов технологического процесса бактериального окисления флотоконцентрата можно наблюдать следующее:

В составе руды имеется минерал стибнит ( $Sb_2S_3$ ), который негативно влияет на активность бактерий если концентрация сурьмы высокая. Рентгенофазный анализ вышеперечисленных образцов методом Рьетвелда выявил что и в технологическом процессе наблюдается не полное окисление пирита, образование ярозита и гидрониум ярозита, образование которых негативно влияют на извлечения золота. Концентрация сурьмы в флотоконцентрате не должно превышать 10% .

Образование ярозита ( $MFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ ) и гидрониум ярозита  $\{(H_3O)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6\}$  при высоких концентрациях хлорид ионов (более чем 5 г/л) может привести к снижению извлечения золота при цианировании [8].

Наличие углерода в флотоконцентрате определяет потенциал прег-роббинга руды .

Наблюдается частицы углерода во всех образцов экспериментального запуска реакторов. Наблюдалось увеличение размеров частиц углерода в процессе бактериального окисления флотоконцентрата. При этом нужно проводить более тщательное изучение формы нахождения углерода в флотоконцентрате и в КЕМИКС.



Установлено, что в процессе обогащения некоторые минералы изменяют свои структуры, тем самым образуя новую минера-логическую форму. На основе рентго-фазового анализа установлено что в при окислении минералов образуются новые минералы, такие как ярозит, гидрониумярозит, бассанит, арсенолит и др.

#### Использованные литературы:

1. Меретуков М.А. Золото, химия, минералогия, металлургия. М.: Руда и металлы» 2008. -528 с.
2. Нерадовский Ю.Н. Рудная минераграфия. Издательство МГТУ, Мурманск, 2009. 38-42 с.
3. Воробьев Н. И., Новик Д. М. Обогащение полезных ископаемых. Минск: БГТУ, 2008. -4-5 с.
4. Лобанов Д. З., Верникова Л.М. Микробиологическое выщелачивание металлов. Московский геологоразведочный институт. 2005. 192 с.
5. Минеев Г. Г. Биометаллургия золота. – М. Металлургия. 1989. 160 с.
6. Классификация золотосодержащих руд с дисперсным золотом по технологической упорности /Шумилова Л.В.// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование научный журнал. №2(18) 2008. 62-69 с.
7. Секисов А.Г. Дисперсное золото. Геологические и технологические аспекты. / Секисов А.Г. Зыков Н.В. Королёв В.С. Чита: ЧитГУ, 2007. 104 с.
8. Rees, K.L., van Deventer, J.S.J., 2000. Preg-robbing phenomena in the cyanidation of sulfide gold ores. Hydrometallurgy 58 (1), 61-80