

УДК 622.75/.77, 622.765, 622.777/.778

## **Изучение влияния микроорганизмов на поверхность минералов**

**Н.К. Алгебраистова<sup>а\*</sup>, А.В. Развязная<sup>а</sup>,  
Ю.Л. Гуревич<sup>б</sup>, М.И. Теремова<sup>б</sup>, Ю.Л. Михлин<sup>в</sup>**

<sup>а</sup> *Сибирский федеральный университет,*

*Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

<sup>б</sup> *Международный научный центр исследований*

*экстремальных состояний организма КНЦ СО РАН,*

*Россия 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/12*

<sup>в</sup> *Институт химии и химической технологии СО РАН,*

*Россия 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/24<sup>1</sup>*

Received 09.11.2012, received in revised form 16.11.2012, accepted 23.11.2012

*Исследована возможность использования культуры бактерий *Pseudomonas Japónica* в цикле селекции медно-молибденового коллективного концентрата с целью десорбции ксантогената с поверхности минералов. Изучено влияние микроорганизмов на поверхность сульфидов меди и молибденита путем измерения краевого угла смачивания и методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Показано, что под воздействием микроорганизмов на поверхности сульфидов снижается концентрация ксантогената и, как следствие, повышается гидрофилизация минералов.*

*Ключевые слова: сульфиды, ксантогенат, десорбция, культура бактерий, микроорганизмы, коллективный концентрат, краевой угол смачивания, фотоэлектронные спектры.*

### **Введение**

Разделение коллективных концентратов – основная проблема при обогащении полиметаллических руд. Особенно актуальна она при селекции медно-молибденовых концентратов [1].

Ранее [2] были показаны основные способы селекции коллективных медно-молибденовых концентратов и перечислены их основные недостатки, среди которых наиболее часто встречаются депрессия благородных металлов, затраты на подогрев пульпы и использование в процессах разделения реагентов, которые по своим токсикологическим свойствам небезопасны и отрицательно влияют на экологическое состояние районов, где размещены горно-перерабатывающие предприятия.

Совершенствование способов селекции – применение азота, предварительная отмывка реагентов, применение сочетания неорганических депрессоров, раздельная селекция песковой

\* Corresponding author E-mail address: algebraistova@mail.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

и шламовой фракции – позволило улучшить технико-экономические показатели разделения, но не устранило отмеченных выше недостатков [3, 4].

Так, разработка эффективного, экологически безопасного и экономически выгодного способа селекции медно-молибденового коллективного концентрата является актуальной задачей.

Одним из возможных путей интенсификации процесса селекции служит нетрадиционный способ воздействия гетеротрофных микроорганизмов на поверхность разделяемых сульфидов. Ксантогенат, будучи веществом органической природы, теоретически может использоваться бактериальной культурой в качестве основных источников питания и жизнедеятельности. Таким образом, способность бактерий, селективно выделенных на питательной среде аналогичного состава, деградировать ксантогенат с поверхности минералов служит предпосылкой для успешного использования их в циклах селекции коллективных концентратов.

В работах индийских ученых была представлена методика выделения культуры микроорганизмов и возможность их применения для удаления изопропилового ксантогената с поверхности образцов галенита, кварца и кальцита [5]. Исследованиями с использованием ИК-спектроскопии было показано, что наибольшая степень деградации реагента с поверхности достигается при использовании активной культуры бактерий по сравнению с метаболитами (продуктами их жизнедеятельности) и клетками.

В дальнейших исследованиях индийские ученые получили положительные результаты удаления пирита из медных минералов путем его депрессии бактериями *Acidithiobacillus ferrooxidans* [6, 7].

### **Подготовка культуры бактерий**

Исходя из имеющегося опыта и практики отбора активных культур микроорганизмов-десорбентов токсичных органических соединений [8], принимали следующую схему отбора культуры, деградирующей ксантогенат. Источником выделения служило хвостохранилище Сорского ферромолибденового завода. Образец помещали в жидкую среду и инкубировали на качалке при температуре 30 °С. Выросшая смешанная культура бактерий несколько раз пересеивалась на свежую среду. В результате культивирования на селективной среде (наиболее благоприятной для роста микроорганизмов) произошло накопление только тех бактерий, которые способны к росту на среде с ксантогенатом в качестве единственного источника углерода и энергии. Использовалась минеральная селективная среда следующего состава (в г/л):  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -1;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ -0,5;  $\text{MgCl}_2$ -0,2; глюкоза-1; бутиловый ксантогенат калия-0,2-0,7; раствор микроэлементов-1; pH-7,0-7,2; вода водопроводная; температура культивирования 30 °С.

В результате была выделена чистая культура *Pseudomonas Japonica*, способная деградировать бутиловый ксантогенат калия с концентрацией биомассы 0, 4г /л и количеством клеток, равным  $6 \cdot 10^6$  кл/мл.

### **Технологические исследования**

На предыдущих этапах исследования изучалось влияние микроорганизмов, их клеток и метаболитов на процесс флотации сульфидов меди и молибденита, а также влияние культуры бактерий на селекцию медно-молибденового коллективного концентрата.

Определено, что при времени взаимодействия сульфидов с культурой бактерий, равном 2 мин, достигается значительное снижение (на 40 %) флотуемости медных минералов, при том что флотация молибденита остается неизменной.

Целью настоящих исследований является изучение влияния микроорганизмов на поверхность медных минералов и молибденита.

Для определения свойств (гидрофобность, гидрофильность) поверхности сульфидов меди и молибдена до и после бактериальной обработки были выполнены эксперименты по измерению краевого угла смачивания.

Измерение краевых углов производили на приборе П.А. Ребиндера. Для проведения опытов по измерению краевых углов смачивания были приготовлены шлифы сульфидных минералов: халькопирит, молибденит и пирит. На каждом из сульфидов угол замеряли на необработанной поверхности минерала, затем на обработанной 0,1 % раствора ксантогената в течение 5 мин и после обработки культурой бактерий в течение 10 мин.

Результаты измерения показали следующее: для всех трех случаев наблюдается общая закономерность увеличения краевого угла смачивания после обработки поверхности собирателем и его уменьшение в результате последующего воздействия культуры. Это свидетельствует о том, что поверхность сульфидов под воздействием бактерий приобретает гидрофильные свойства. Эффект гидрофилизации наблюдался уже в первые минуты контакта.

Для изучения влияния бактерий на поверхность сульфидов меди и молибденита были подготовлены пробы для анализа их на рентгеновском фотоэлектронном спектрометре SPECS.

На изучение поверхности были отданы следующие образцы: медные и молибденовые продукты в исходном состоянии, обработанные ксантогенатом и бактериями в течение 5 мин.

Для изучения влияния бактериальной обработки на изменение концентрации ксантогената были исследованы спектры серы, входящей в состав собирателя и используемой бактериями в качестве источника питания.

Рентгеновские фотоэлектронные спектры записывали на спектрометре SPECS (Германия) при возбуждении монохроматизированным излучением Al K $\alpha$  рентгеновской трубки при энергиях пропускания полусферического энергоанализатора PNOIBOS 150 MCD9, равных 20 эВ (обзорные спектры) или 8 эВ (узкие сканы).

В спектрах серы (рис. 1) можно различить несколько компонентов, которые традиционно относят к моносulfидным ( $ES < 162$  эВ), ди- и полисulfидным ионам (примерно 162 эВ и 163-164 эВ соответственно), сульфату (около 169 эВ) и другим. Элементарная сера ( $ES 164,0$  эВ) в спектрах часто не наблюдается потому, что улетучивается в сверхвысоком вакууме. Сера ксантогената, который также может частично испаряться в вакууме, имеет  $ES$  около 164 эВ или несколько больше. В изученных образцах преобладает моносulfидная форма серы, которая входит в состав халькопирита, сфалерита и других минералов. Кроме того, на ряде образцов высока концентрация сульфат-ионов, которая снижается после ионного травления, то есть сульфат находится только на поверхности. Бактериальная обработка также уменьшает количество сульфата. В спектр серы, несомненно, дают вклад линии дисulfида и ксантогената.

Из полученных данных (табл. 1) видно, что бактериальная обработка приводит к снижению количества серы, входящей в состав ксантогената, на поверхности медного продукта.

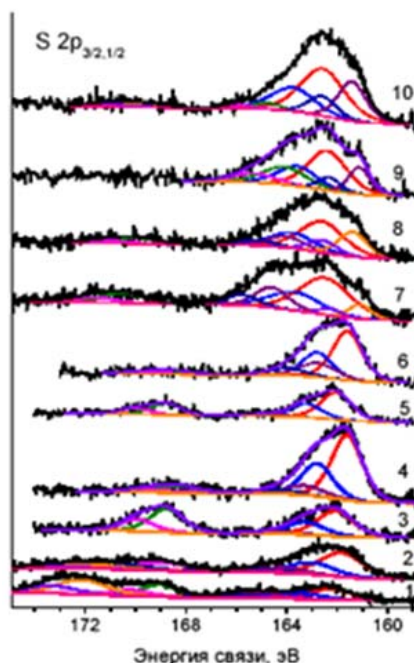


Рис. 1. Рентгеновские фотоэлектронные спектры серы медного продукта: 1, 2 – без дополнительной обработки; 3, 4 – промывка водой; 5, 6 – обработка ксантогенатом и бактериальное окисление; 7, 8 – обработка ксантогенатом; 9, 10 – бактериальное окисление; 1, 3, 5, 7, 9 – до травления ионами  $Ag^+$ ; 2, 4, 6, 8, 10 – после 2 мин травления ионами  $Ag^+$  после различных типов обработки

Таблица 1. Относительные концентрации и результаты разложения фотоэлектронных спектров медного продукта после различных видов обработки

Образец	Форма компонентов серы	Энергия связи серы, эВ	Содержание данной формы компонентов серы в общем спектре, %	Относительная концентрация серы
Медный продукт в исходном состоянии	Дисульфидная	162,2	23	2,8
	Сера ксантогената	165,1	12	
	Сульфат	169	25	
	Другая	172,1	40	
Медный продукт, обработанный ксантогенатом	Моносульфидная	161,1	10	7,3
	Дисульфидная	162,5	57	
	Сера ксантогената	164,6	22	
	Сульфат	170,5	11	
Медный продукт, обработанный ксантогенатом и бактериями	Дисульфидная	162	68	5,0
	Сера ксантогената	164,7	5	
	Сульфат	168,8	27	

Анализ фотоэлектронных спектров серы, входящей в состав ксантогената на поверхности молибденита, показал аналогичную ситуацию, что и на медном продукте. Количество ксантогенатной серы увеличивается после обработки собирателем до 21 % и снижается до 8 % под воздействием бактерий.

### Заключение

Исследования поверхности медного и молибденового продуктов до и после бактериальной обработки подтвердили, что под воздействием микроорганизмов на поверхности сульфидов снижается концентрация ксантогената и, как следствие, повышается гидрофилизация минералов.

Внедрение метода селекции коллективных концентратов с использованием микробиологических приемов позволит снизить расход дефицитных и экологически небезопасных реагентов, резко понизить расход теплоносителей.

### Список литературы

- [1] *Шубов Л.Я, Иванков С.И., Щеглова Н.К.* Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья: справочник: в 2 кн. / под ред. Л.В. Кондратьевой. М.: Недра, 1990. Кн. 1. 400 с.
- [2] *Абрамов, А.А.* Технология переработки и обогащения руд цветных металлов: в 2 кн. М.: МГГУ, 2007.
- [3] *Асончик К.М, Чаплыгин К.М., Гапонов Г.А.* // Цветные металлы. 1999. № 4. С. 18-23.
- [4] *Ганбаатар З. Гэээгт Ш., Сатаев И.Ш.* // Горный журнал. 2003. Спец. выпуск. С. 58-63.
- [5] *Chockalingam Evvie, Subranianinn S, Natarajan K.A.* // Bioremediation Journal. 2003. № 2. P. 146-152.
- [6] *Chandraprabha M.N., Natarajan K.A., Somasundaran P.* // International Journal of Mineral Processing. 2005. Vol. 75. P. 113-122.
- [7] *Chandraprabha M.N., Natarajan K. A., Modak Jayant M.* // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2004. № 37. P. 93-100.
- [8] Большой практикум по микробиологии / под ред. Г.А. Селибера. М.: Высшая школа, 1962. 491 с.

## **Investigation of Microorganisms Influence on the Surface of Minerals**

**Natal'ja K. Algebraistova<sup>a</sup>,  
Aleksandra V. Razvjaznaja<sup>a</sup>, Jurij L. Gurevich<sup>b</sup>,  
Margarita I. Teremova<sup>b</sup> and Jurij L. Mihlin<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *Siberian Federal University,*

*79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

<sup>b</sup> *International Scientific Research Center  
of Extreme States of the Organism*

*50/12 Academgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

<sup>c</sup> *Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS  
50/24 Academgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

---

*The ability was studied to use Pseudomonas Japonica bacteria's culture in the cycle of the cooper-molybdenum collective ore concentrate selection with the view of xanthate desorption from the minerals surface. The influence was studied of microorganisms on the surfaces of a copper and molybdenum sulfides by means of measurement contact angle and photoelectron spectroscopy method. Reducing xanthate concentration on the surfaces sulfides was shown, and, as consequence, hydrophilization minerals increases.*

*Keywords: Minerals, sulfides, flotation, xanthate, a desorption, culture of bacteria, cells, metabolites, microorganisms, bulk concentrate, contact angle, photoelectron spectrum.*

---