

- продолжительность процесса активации 1,5 ч.

Нанопористая структура осинового АУ сходна со структурой березового АУ, полученного при тех же условиях. Параметры этой структуры (величина удельной поверхности, распределение пор по размерам и т.п.) можно в достаточно широких пределах регулировать в процессе активации.

#### Библиографический список

1. Энерго- и ресурсосбережение при утилизации отработанных деревянных шпал методом пиролиза / Т.Д. Исхаков, А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, Р.Г. Сафин// Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 11–12. С. 16.
2. Штеба Т.В. Получение активных углей из березовой щепы различного качества: дис. ... канд. техн. наук / Штеба Татьяна Валерьевна. Екатеринбург, 2004. 168 с.
3. Дроздова Н.А., Юрьев Ю.Л. Активация березового и осинового угля // Вестник КНИТУ, 2012. Т. 15. № 13. С. 147–148.

УДК 663.18 (579.66)

Студ. К.Е. Кацуба  
Рук. Т.М. Панова  
УГЛТУ, Екатеринбург

### **БАКТЕРИАЛЬНО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ РУД**

Биометаллургия – перспективная область науки и техники.

Процесс биовыщелачивания имеет свои преимущества и большие перспективы по сравнению с традиционными процессами извлечения металлов из руд. Вот лишь некоторые из них: уменьшение расходов на реагенты (так как растворитель металлов образуется в результате жизнедеятельности бактерий), существенное снижение вредного воздействия на окружающую среду, более комплексное использование природных ресурсов, сырья и материалов [1].

Для дальнейшего развития прикладного использования данного явления предельно важно понимать теоретические основы процесса.

Биовыщелачивание – это извлечение металлов из их руд посредством живых организмов, способных извлекать металлы методами: окислительно-восстановительных реакций, образования органических и неорганических кислот, формирования комплексных соединений, например бактерии *Acidithiobacillus thiooxidans* (ранее известные как *Thiobacillus thiooxidans*), –

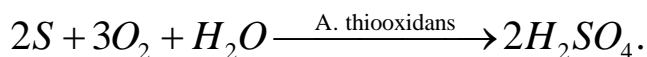
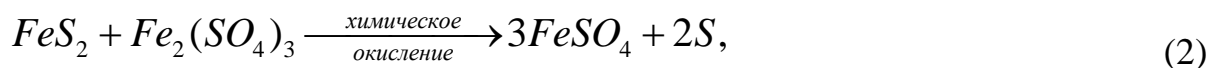
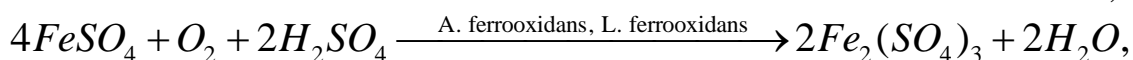
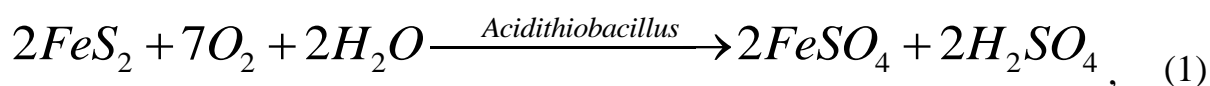
мезофилы, использующие серу как основной источник энергии и продуцирующие основную неорганическую кислоту, обнаруженную в выщелачивающих средах – серную.

Некоторые органические кислоты образуются бактериями через формирование комплексных и хелатных соединений, а также как результат собственного метаболизма.

Существуют две модели механизма, которые объясняют биовыщелачивание. Микроорганизмы способны окислять сульфиды «прямым» механизмом: переносом электронов напрямую с восстановленных минералов. При этом клетки должны быть плотно прикреплены к поверхности минерала, то есть, физически контактировать. Адсорбция клеткой частиц минерала может занимать от нескольких минут до часов. Бактерии избирательно и преимущественно закрепляются на поверхностных неровностях. Кроме этого, для микроорганизмов вида *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* были обнаружены гены, ответственные за двигательную реакцию (хемотаксис) на ионы меди, железа и никеля.

Окисление восстановленных металлов через «непрямой» механизм обусловлен наличием ионов  $Fe^{3+}$ , которые образуются путем микробиологического окисления соединений, содержащих  $Fe^{2+}$ . На практике это означает, что сульфиды металлов могут восстанавливаться до элементарных металлов, которые, в свою очередь, могут быть подвергнуты микробиологическому окислению. В данном процессе железо выполняет роль переносчика электронов. В связи с этим, было высказано предположение о том, что для окисления железа прямого контакта не требуется.

Химические уравнения, описывающие механизмы «прямого» (1) и «непрямого» (2) окисления пирита выглядят следующим образом:



Следует отметить, что теория «прямого» и «непрямого» биовыщелачивания до сих пор является предметом обсуждения. Альтернативой ей является другая теория, которая не проводит дифференциации между «прямым» и «косвенным» механизмами и основывается на следующих положениях:

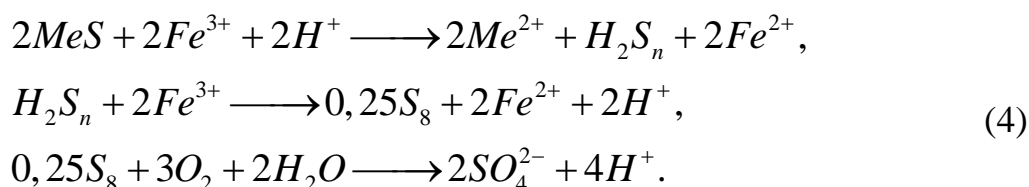
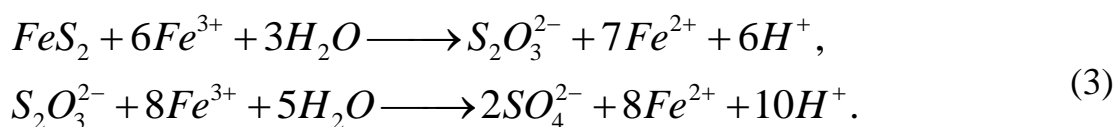
- клетки должны быть прикреплены к минералу и физически контактировать с поверхностью;

- клетки синтезируют и выделяют экзополимеры;
- эти экзополимерные клеточные оболочки содержат соединения  $Fe^{3+}$ , которые связаны в комплекс с остатками глюконовой кислоты;
- тиосульфат образуется как интермедиат в процессе окисления серо-содержащих соединений;
- гранулы серы или политионата образуются в периплазматическом пространстве или в клеточной оболочке.

Частицы коллоидной серы были обнаружены в качестве запаса энергии в экзополимерной капсуле около клеток *A. ferrooxidans* во время их роста на синтетических пиритных пленках. На основании этих положений было выдвинуто предположение о двух возможных механизмах.

Тиосульфатный механизм предполагает, что тиосульфат является главным интермедиатом окисления пирита, молебденита или тангстенита. Полисульфид и элементная сера – главные интермедиаты полисульфидного механизма при окислении галенита, сфалерита, халькопирита, гауэрита, орфимента, реальгара. Важным условием является наличие ионов  $Fe^{3+}$  для начала разрушения минерала.

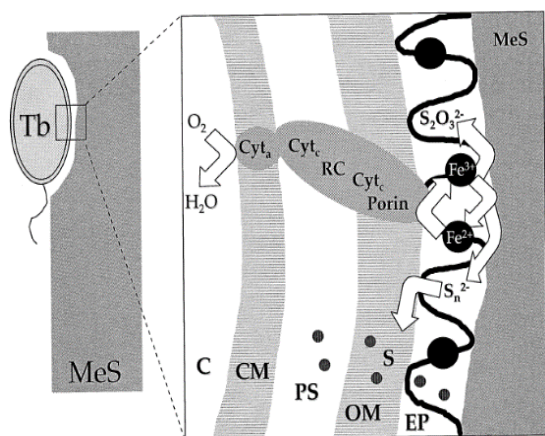
Ниже представлены уравнения реакций тиосульфатного механизма (3), который был обнаружен для  $FeS_2$ ,  $MoS_2$ ,  $WS_2$ , и полисульфидного механизма (4) – для  $PbS$ ,  $CuFeS_2$ ,  $ZnS$ ,  $MnS_2$ ,  $As_2S_3$ ,  $As_3S_4$ .



Некоторые биомолекулы могут быть вовлечены в аэробное дыхание на восстановленных соединениях серы и железа. Было обнаружено, что до 5 % растворенных белков бактерии *A. ferrooxidans* преимущественно состоят из синего медьсодержащего белка, называемого рустицианином. Помимо этого,  $Fe^{2+}$ -дыхательная система содержит зеленый медьсодержащий белок, два типа цитохрома C, один или более типов цитохрома A, белок порин и  $Fe^{2+}$  – сульфатный хелат.

На рисунке показана схема модели, объединяющая последовательность переноса электронов, предположенная ранее с более поздними концепциями [2].

В данной статье рассмотрены возможные механизмы извлечения металлов из руд при помощи микроорганизмов, которые необходимо учитывать при промышленном использовании биовыщелачивания.



Схематическая модель механизма биовыщелачивания (after Hazra et al., 1992; Sand et al., 1995, 1999; Schippers et al., 1996; Rawlings, 1999):

C – цитоплазма; CM – клеточная мембрана; PS – периплазматическое пространство; OM – внешняя мембрана; EP – экзополимеры; Cyt – цитохром; RC – рустацианин; MeS – сульфид металла

### Библиографический список

1. Минеев Г.Г. Биометаллургия золота. М.: Metallurgy, 1989. С. 7.
2. Brandl H. (2001) Microbial leaching of metals. In: Rehm H.J. (ed.) Biotechnology, Vol. 10. Wiley-VCH, Weinheim, pp. 191–224.

УДК 544.778.4

Маг. Ю.С. Киселев  
Рук. И.К. Гиндулин, В.В. Юрченко  
УГЛТУ, Екатеринбург

### ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ УГЛЕЙ

Высокодисперсные порошки находят свое применение в различных областях науки и техники. Порошки могут быть использованы в качестве пигментов, носителей для катализаторов, сырья в производстве керамики и парфюмерной промышленности и т.д.

В нашей работе мы исследовали возможность измельчения древесного березового угля в различных средах и под влиянием различных поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Дробление древесных углей осуществляли на установке АГО-2У (активатор планетарно-центробежный) с различной продолжительностью активации.