

УДК 579.846.2.017

МИКРОБИОЛОГИЯ

Н. С. Вартанян, академик НАН Армении Э. Г. Африкян

Удаление железа из глины хемолитотрофными бактериями

(Представлено 26/I 1994)

Окиси железа, содержащиеся в глине, являются примесями, снижающими качество вырабатываемой продукции. Исключительно важное значение это имеет для получения полупроводниковых материалов из отдельных видов глин. Существующие физико-механические методы удаления железа, как-то: магнитная сепарация, флотация, не являются универсальными, и их эффективность зависит от минералогических свойств сырья [1]. Применение химических методов (обработка органическими и неорганическими кислотами) связано с загрязнением окружающей среды. В этой связи наиболее приемлемыми являются микробиологические методы удаления железа. Ряд известных гетеротрофных микроорганизмов, продуцирующих органические кислоты, в частности, лимонную и оксаловую, являющиеся сильными хелатирующими агентами, успешно осуществляет удаление железа [2, 3]. Однако использование подобных методов не представляется экономически выгодным. Целью настоящей работы являлось изучение способностей различных групп автотрофных железобактерий в выщелачивании железа из глины.

Объектом исследования служил образец глины, используемой в производстве керамики и полупроводников. Содержание  $Fe_2O_3$  в образце составляло 1,2 %.

Для удаления железа из глины использовали серо- и железобактерии *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, а также выделенные и изученные нами штаммы *Leptosprillum ferrooxidans* [4] и *Sulfobacillus thermosulfidoxidans subsp. asporogenes* [5].

В колбы вносили навески порошковой глины, заливали небольшим количеством дистиллированной воды, стерилизовали при 0,5 изб. атм. в течение 30 мин. Затем в колбы добавляли подкисленные среды 9К [6] или Брайерли [5] без железа и суспензию отмытых клеток серо- и железобактерий. Опыты проводили на качалке (180 об/мин). Количественный учет жизнеспособных клеток бактерий проводили методом десятикратных предельных разведений.

Титр бактерий определяли по Мак-Креди [7]. Содержание железа в среде определяли комплексометрически трилоном Б [8]. Образцы глины до и после выщелачивания предварительно подвергали обработке с целью перевода железа в раствор. Сульфаты определяли по методу Заварова [9], количество восстановленных соединений серы — как разницу общего содержания сульфатов и растворимых сульфатов.

Таблица 1

Микробиологическое выщелачивание глины серо- и железooksисляющими бактериями  
(время культивирования—7 суток, т:ж=1:20, t=30°)

| Использованный штамм бактерий       | pH                    | Выделено Fe, мг л, в т. ч. |                  | Извлечено Fe, % | Титр бактерий, кл мл |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|-----------------|----------------------|
|                                     | начальный<br>конечный | Fe <sup>3+</sup>           | Fe <sup>2+</sup> |                 |                      |
| Контроль, без инокуляции бактериями | 2,1<br>—<br>2,1       | 28                         | 56               | 30              | —                    |
| <i>T. ferrooxidans</i> , шт. 4      | 2,1<br>—<br>2,0       | 280                        | 28               | 100             | $1,9 \times 10^9$    |
| <i>L. ferrooxidans</i> , шт. 50     | 2,1<br>—<br>2,0       | 182                        | 28               | 93,3            | $9,0 \times 10^8$    |
| <i>T. thiooxidans</i> , шт. 460     | 2,9<br>—<br>3,0       | 0                          | 28               | 10              | $1,0 \times 10^2$    |
| <i>T. thiooxidans</i> , шт. 460+S°  | 2,9<br>—<br>0,9       | 28                         | 224              | 90              | $5,0 \times 10^8$    |

Данные табл. 1 показывают, что в опытных вариантах с бактериями *T. ferrooxidans* и *L. ferrooxidans*, способными окислять Fe<sup>2+</sup>, в среду переходит соответственно в 3,7 и 2,5 раза больше железа, чем в неинокулированном контрольном варианте. При этом перешедшее в среду железо находится в основном в трехвалентном состоянии, тогда как в контрольном варианте преобладает закисное железо. Выделение железа сопровождается увеличением числа клеток бактерий. Очевидно, что выделение железа из глины и его дальнейшее окисление до трехвалентного состояния происходит под действием бактерий *T. ferrooxidans* и *L. ferrooxidans*. Так, за 7 суток культивирования *T. ferrooxidans* и *L. ferrooxidans* выщелачивается 100 и 93,3 % железа соответственно при соотношении твердой и жидкой фаз 1:20.

Отмытые клетки *T. thiooxidans* не проявляют активности в выщелачивании железа. Однако добавление элементной серы стимулирует рост *T. thiooxidans* и приводит к выделению ионов железа в среду. При этом достигается 90 % экстракции железа из глины.

Для удаления железа из глины использовали и выделенную нами термоацидофильную серо- и железooksисляющую бактерию *S. thermosulfidooxidans* subsp. *asporogenes*. В табл. 2 представлена сравнительная характеристика активности бактерий *T. ferrooxidans*, *L. ferrooxidans* и *S. thermosulfidooxidans* subsp. *asporogenes* в выщелачивании железа из глины. Наибольшая активность выявляется у термо-

фильных бактерий (76 %). Примечательно, что по активности выщелачивания глины *S. thermosulfidooxidans* subsp. *asporogenes* превосходит *T. ferrooxidans* и *L. ferrooxidans* даже при температуре 30°, не являющейся оптимальной для данной культуры. При оптимальной же температуре 50° бактерии этого вида за 4 суток культивирования практически полностью удаляют железо из глины (табл. 2).

Таблица 2

Выщелачивание глины бактериями *T. ferrooxidans*, *L. ferrooxidans* и умеренно термофильной *S. thermosulfidooxidans* subsp. *asporogenes* (время культивирования—7 суток,  $t=30^\circ$ )

| Использованный<br>штамм бактерий                                      | рН<br>начальный<br>конечный | Выделено Fe, мг/л,<br>в т. ч. |                  | Выделено<br>Fe, % |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|
|                                                                       |                             | Fe <sup>3+</sup>              | Fe <sup>2+</sup> |                   |
| Контроль без инокуляции бак-<br>териями                               | $\frac{2,0}{2,75}$          | 28                            | 112              | 16                |
| <i>T. ferrooxidans</i> , шт. 4                                        | $\frac{2,0}{2,4}$           | 336                           | 28               | 50                |
| <i>L. ferrooxidans</i> , шт. 50                                       | $\frac{2,0}{2,1}$           | 460                           | 28               | 68,5              |
| <i>S. thermosulfidooxidans</i><br>subsp. <i>asporogenes</i> , шт. 41  | $\frac{2,0}{2,3}$           | 520                           | 14               | 76                |
| <i>S. thermosulfidooxidans</i><br>subsp. <i>asporogenes</i> , шт. 41* | $\frac{2,0}{1,8}$           | 644                           | 28               | 99,8              |

\*—штамм выращивался при 50°

Данные табл. 3 выражают зависимость скорости выделения железа от плотности пульпы при выщелачивании глины бактериями *L. ferrooxidans*.

Интенсивность выделения Fe<sup>2+</sup> возрастает с увеличением плотности пульпы от 5 до 10 %. Дальнейшее увеличение плотности пульпы до 20 % приводит к снижению скорости окисления железа. Наибольшая скорость окисления железа наблюдается при плотности пульпы 10 % по соотношению твердой и жидкой фаз 1:10.

Таблица 3

Зависимость скорости выделения железа и плотности пульпы при выщелачивании глины *L. ferrooxidans*

| Плотность пульпы, % | Скорость выделения Fe <sup>2+</sup> , мг/л час |
|---------------------|------------------------------------------------|
| 5                   | 1,75                                           |
| 10                  | 4,08                                           |
| 15                  | 1,17                                           |
| 20                  | 0,58                                           |

Установлено, что выщелачивание железа из глины бактериями *L. ferrooxidans* увеличивается при снижении pH среды. Наиболее выраженным этот процесс является при pH 1,5 (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость скорости выделения железа и pH среды при выщелачивании глины  
*L. ferrooxidans* (плотность пульпы—10%,  $t=30^{\circ}$ )

| pH среды | Скорость выделения $Fe^{2+}$ , мг/л час |
|----------|-----------------------------------------|
| 1,5      | 4,64                                    |
| 1,8      | 4,08                                    |
| 2,3      | 2,92                                    |
| 2,8      | 1,50                                    |

Таким образом, хемолитотрофные серо- и железоокисляющие бактерии *T. ferrooxidans* и *L. ferrooxidans* способны удалять железо из глины. Способность *T. thiooxidans* к обезжелезнению глины связана с наличием в среде восстановленных соединений серы как источника энергии. Высокую активность в выделении железа из глины проявляют умеренно термофильные серо- и железоокисляющие бактерии *S. thermosulfidooxidans* subsp. *asporogenes*. По активности выщелачивания глины эти бактерии превосходят *T. ferrooxidans* и *L. ferrooxidans* не только при повышенных температурах, но и при температуре, не являющейся оптимальной для роста данной культуры. Скорость удаления железа из глины зависит как от pH среды, так и от плотности пульпы.

Институт микробиологии  
 НАН Армении

Ն. Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ աղաղակիկոս է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ

### Երկաթի տարալվացումը կավից ֆեմոլիտոտրոֆ բակտերիաներով

Հաստատվել է ափսոսորոֆ բակտերիաներ՝ *Thiobacillus ferrooxidans*-ի, *Leptospirillum ferrooxidans*-ի և *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*-ի ընդունելությունը տարալվանալու երկաթը կավից: Տարալվացման պրոցեսի ինտենսիվությունը պայմանավորված է օգտագործվող բակտերիաների առանձնահատկությամբ և կախված է միջավայրի ռեակցիայից ու պուլպի խտությունից:

### ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. S. N. Groudev e. a., in: 15th Int. Min. Proc. Congress (France), p. 378—387 (1985).
2. G. R. Chaudhury, P. D. Radhanath, Erzmetal., v. 43, № 5, p. 210 (1990).
3. S. N. Groudev, Acta Biotechnol. v. 7, № 4, p. 299—307 (1987).
4. Г. Е. Маркосян, Биол. журн. Армении, т. 25, № 2, с. 26—29 (1972).
5. Н. С. Вартанян, Т. А. Пивоварова, И. А. Цапина и др., Микробиология, т. 57, № 2, с. 268—274 (1988).
6. M. P. Silverman, D. C. Lundgren, J. Bacteriol., v. 77, p. 642 (1959).
7. Ф. Герхардт и др., Методы общей бактериологии, Мир, М., 1983.
8. А. А. Резников, Е. П. Муликовская, И. Ю. Соколов, Методы анализа природных вод, Недра, М., 1970.
9. Г. В. Заваров, Завод. лаб., № 5, с. 23, 1957.