

Т.Ф. Кондратьева А.Г. Булаев
М.И. Муравьев

МИКРООРГАНИЗМЫ

В БИОГЕОТЕХНОЛОГИЯХ
ПЕРЕРАБОТКИ
СУЛЬФИДНЫХ РУД



НАУКА

Т.Ф. Кондратьева А.Г. Булаев
М.И. Муравьев

МИКРООРГАНИЗМЫ

В БИОГЕОТЕХНОЛОГИЯХ

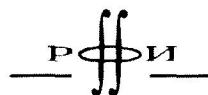
ПЕРЕРАБОТКИ

СУЛЬФИДНЫХ РУД



МОСКВА НАУКА 2015

УДК 579
ББК 28.4+33.4
К64



*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 15-08-07001*

Издание не подлежит продаже

Ответственный редактор
член-корреспондент РАН В.Ф. ГАЛЬЧЕНКО

Рецензенты:

доктор биологических наук А.Н. НОЖЕВНИКОВА,
доктор технических наук П.М. СОЛОЖЕНКИН

Кондратьева Т.Ф., Булаев А.Г., Муравьев М.И.

Микроорганизмы в биотехнологиях переработки сульфидных руд / Т.Ф. Кондратьева, А.Г. Булаев, М.И. Муравьев ; [отв. ред. В.Ф. Гальченко] ; Ин-т микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН. – М.: Наука, 2015. – 212 с. – ISBN 978-5-02-039150-5 (в пер.).

В монографии освещаются последние достижения в области изучения ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов, их роли в биотехнологиях получения ценных металлов из сульфидных руд и продуктов их переработки, в разработке новых эффективных ресурсосберегающих и экологически безопасных биотехнологий.

Для микробиологов и специалистов, изучающих различные аспекты биологии, биохимии, экологии, биотехнологии, а также студентов, аспирантов и преподавателей биотехнологического профиля.

Kondrat'eva T.F., Bulaev A.G., Muravyov M.I.

Microorganisms in biotechnologies of sulphide ores processing / T.F. Kondrat'eva, A.G. Bulaev, M.I. Muravyov ; [Ed. by V.F. Galchenko] ; Winogradsky Institute of Microbiology RAS. – Moscow : Nauka, 2015. – 212 p. – ISBN 978-5-02-039150-5 (in cloth.).

The monograph is elucidated the last achievements in studying of acidophilic chemolithotrophic microorganisms, their role in biotechnologies of valuable metals receiving from sulphide ores and their processing products, in elaboration of the new effective resource-saving and ecological-safe biotechnologies.

The book is intended for microbiologists and specialists investigating various aspects of biology, biochemistry, ecology, biotechnology, and also for students, post-graduate students and biotechnology profile teachers.

ISBN 978-5-02-039150-5

- © Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, 2015
- © Кондратьева Т.Ф., Булаев А.Г., Муравьев М.И., 2015
- © Редакционно-издательское оформление. Издательство “Наука”, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список принятых сокращений	5
Предисловие	6
Введение	8
Литература	10

Глава 1

Характеристика ацидофильных микроорганизмов, участвующих в окислении сульфидных минералов, железа и соединений серы

1.1. Представители филума <i>Proteobacteria</i>	12
1.1.1. Бактерии рода <i>Acidithiobacillus</i>	12
1.1.2. Другие представители ацидофильных хемолитотрофных протеобактерий	15
1.2. Представители филума <i>Nitrospirae</i>	16
1.2.1. Бактерии рода <i>Leptospirillum</i>	16
1.3. Представители филума <i>Actinobacteria</i>	18
1.4. Представители филума <i>Firmicutes</i>	18
1.5. Представители филума <i>Euryarchaeota</i>	21
1.6. Представители филума <i>Crenarchaeota</i>	23
1.7. Гетеротрофные ацидофильные микроорганизмы, встречающиеся в зонах окисления сульфидных руд	25
Литература	25

Глава 2

Особенности физиологии ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов

2.1. Ацидофилия	34
2.2. Термофилия	36
2.3. Взаимодействие ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов с неорганическими субстратами	39
2.3.1. Окисление двухвалентного железа	39
2.3.2. Окисление серы и ее растворимых соединений	41
2.3.3. Окисление сульфидных минералов	43
2.4. Метаболизм углерода	47
2.5. Устойчивость к тяжелым металлам	49
Литература	52

Глава 3

Изменчивость ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов

3.1. Генотипический полиморфизм штаммов <i>At. ferrooxidans</i>	64
3.2. Влияние факторов среды на изменчивость <i>At. ferrooxidans</i>	69
3.2.1. Влияние pH	69
3.2.2. Влияние экспериментального повышении устойчивости к ионам металлов	70
3.2.3. Влияние энергетического субстрата	71
3.3. Изучение механизмов изменчивости <i>At. ferrooxidans</i>	74
Литература	80

Глава 4

Технологии переработки золотосодержащих сульфидных руд

4.1. Сырьевая база золотодобывающей промышленности	83
4.2. Способы извлечения золота из коренных руд	84
4.3. Классификация золотосодержащих руд по степени их упорности	86
4.4. Способы вскрытия золота из упорных руд	88
4.4.1. Тонкое и сверхтонкое измельчение	88
4.4.2. Обжиг	89
4.4.3. Автоклавное вскрытие	90
4.4.4. Кислотно-кислородное выщелачивание	90
4.5. Биоготехнология упорных золотосодержащих концентратов	92
Литература	100

Глава 5

Биоготехнологии переработки сульфидных руд, содержащих цветные и другие металлы

5.1. Биоготехнология кучного выщелачивания цветных и других металлов	103
5.1.1. Кучное выщелачивание меди	105
5.1.2. Кучное выщелачивание других металлов	109
5.2. Биоготехнология агитационного выщелачивания цветных и других металлов	110
5.2.1. Агитационное выщелачивание меди	110
5.2.2. Агитационное выщелачивание других металлов	113
Литература	114

Глава 6

Разработка новых биоготехнологий получения ценных металлов из сульфидных руд и продуктов их переработки в России

6.1. Биоготехнологии извлечения золота из упорных мышьяксодержащих концентратов сульфидных руд	118
6.1.1. Использование переменного температурного режима в процессе биоокисления концентратов золотомышьяковистой пиритно-арсенопиритной сульфидной руды	119
6.1.2. Применение кислотной обработки в процессе биоокисления золотомышьяковистого концентрата	120
6.1.3. Двухстадийная биоготехнология извлечения золота из упорных концентратов сульфидных руд	123

6.2. Биогeотехнологии выщелачивания цветных металлов из продуктов переработки сульфидных руд	130
6.2.1. Двухстадийная биогeотехнология выщелачивания цветных металлов из сульфидных медно-цинковых продуктов	130
6.2.2. Двухстадийная биогeотехнология выщелачивания меди из концентрата руды месторождения Удокан	131
6.2.3. Выщелачивание медной руды при низких температурах сообществом ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов	134
6.2.4. Биогeотехнология выщелачивания цветных металлов из хвостов флотации медеплавильных конвертерных шлаков	135
6.2.5. Переработки техногенных отходов металлургических производств, содержащих цветные и благородные металлы	139
6.2.6. Биогeотехнология выщелачивания меди из конвертерного медеплавильного шлака	146
Литература	152

Глава 7

Сообщества ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов

7.1. Методы исследований сообществ ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов	155
7.2. Влияние факторов среды на состав сообществ ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов	159
7.2.1. Влияние температуры	159
7.2.2. Влияние состава окисляемого минерального субстрата	174
7.2.3. Влияние рН и Eh среды	182
7.2.4. Влияние органических веществ	183
7.2.5. Влияние режима аэрации	187
7.2.6. Влияние особенностей технологического режима	188
Литература	193
Заключение	200