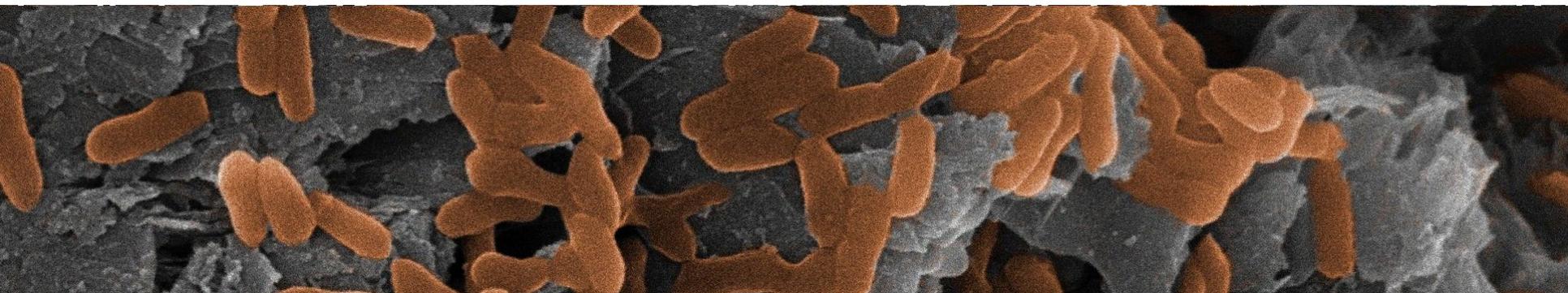


БИОТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ



Пермь - 2019

Основные направления БМ

**1. Биогидрометаллургия, или бактериальное
выщелачивание металлов**

2. Обогащение руд

3. Биосорбция металлов из растворов

Бактериальное выщелачивание

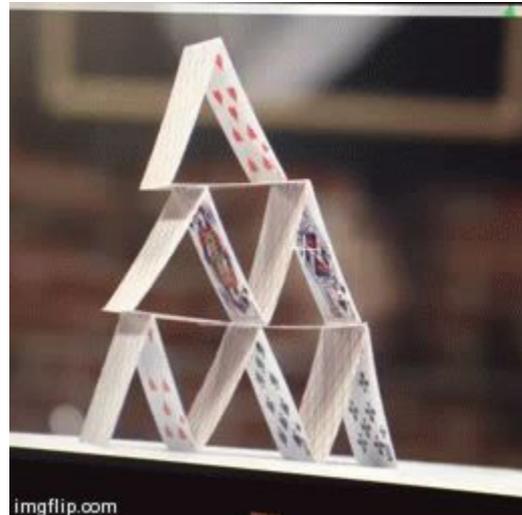
Гидрометаллургический процесс извлечения химических элементов или их соединений из руд, концентратов, техногенного сырья с помощью микроорганизмов.

- Литотрофные микроорганизмы используются для окисления сульфидных минералов, металлов.
- Продукты жизнедеятельности органотрофных микроорганизмов – для разрушения минералов горных пород путём их растворения, окисления металлов.
- Биомасса, образованная органотрофными микроорганизмами, – для накапливания или осаждения из растворов цветных и редких металлов.

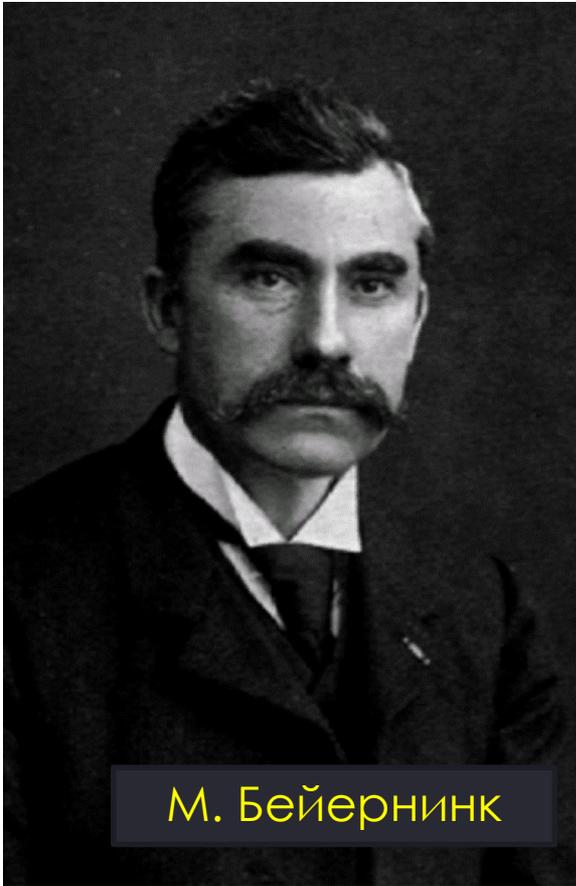
Что лежит в основе технологии?

Способность ацидофильных хемолитотрофных железо- и сероокисляющих бактерий **разрушать кристаллическую решетку сульфидных минералов**

Процесс окисления (растворения) минералов и перевод химических элементов (цветных, редких) из нерастворимого в **растворимое состояние**.

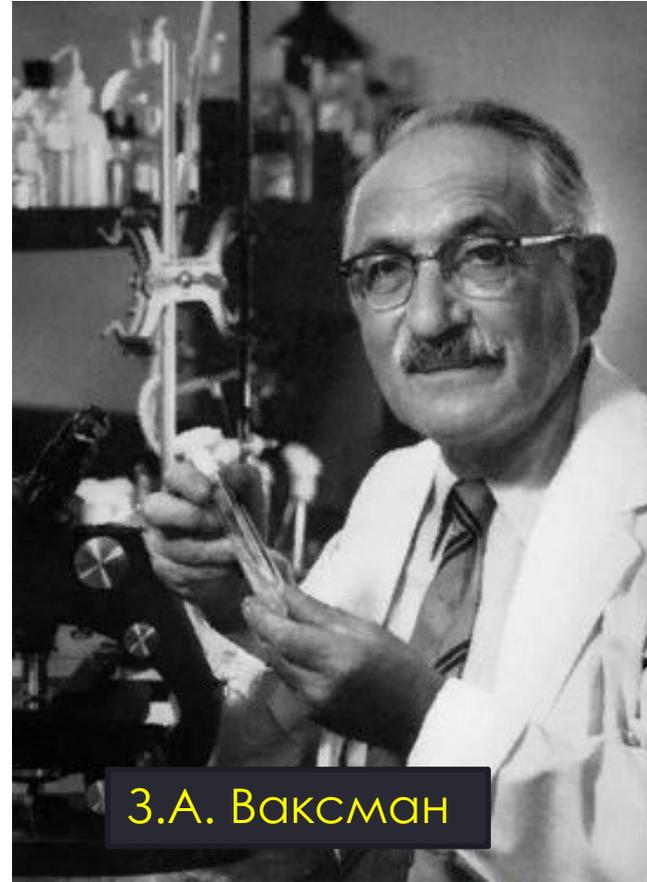


Основные открытия в БМ



М. Бейернинк

Thiobacillus thioparus



З.А. Ваксман

Acidithiobacillus thiooxidans

А. Р. Колмером и М. Хинклем была выведена бактерия
Thiobacillus ferrooxidans

Физико–химические основы выщелачивания металлов из руд

Стадии бактериального окисления:

- взаимодействие поверхностных структур бактерий с окисляемым субстратом (сорбция, адгезия);
- изменение физико-химических свойств окисляемых субстратов и их транспорт в клеточную стенку;
- окисление субстратов в поверхностных структурах клеток;
- транспорт электронов и протонов; образование мембранного потенциала;
- синтез АТФ и образование воды.

Основу этого процесса составляет окисление содержащихся в рудах сульфидных минералов тионовыми бактериями *Thiobacillus ferrooxidans*

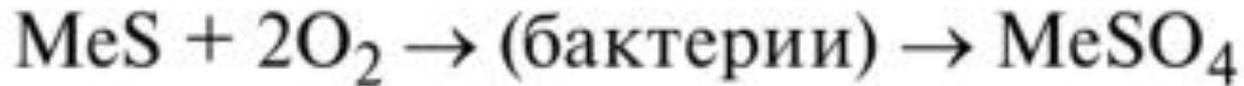


- ✓ Источником углерода для роста бактерий служит углекислый газ
- ✓ Развиваются при **pH от 1 до 4,8 с оптимумом при 2-3**
- ✓ Интервал температур составляет **от 3 до 40°C** с оптимумом при 28°C.

Прямое бактериальное выщелачивание

Происходит при непосредственном контакте бактериальной клетки с поверхностью минерала.

Микроорганизмы осуществляют деструктирование кристаллической решетки минералов, транспорт в клетку окисляемых элементов и их ферментативное окисление

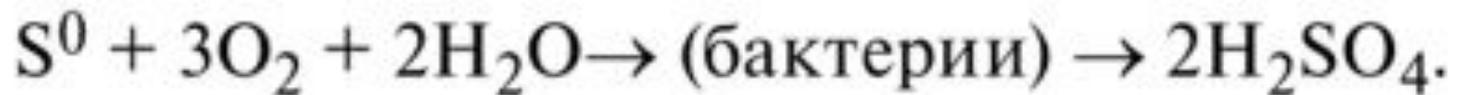


Непрямое бактериальное выщелачивание

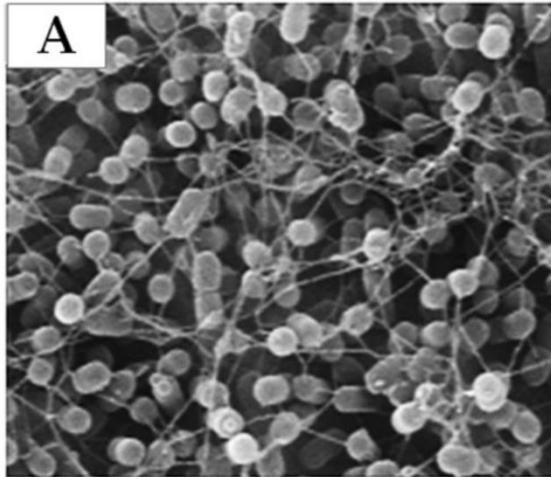
Бактерии образуют окислитель, которым в кислых растворах является Fe^{3+} . Бактерии при этом выполняют только каталитическую функцию, ускоряя окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} , непосредственно не взаимодействуя с минералом.



При этом сера окисляется бактериями до серной кислоты:

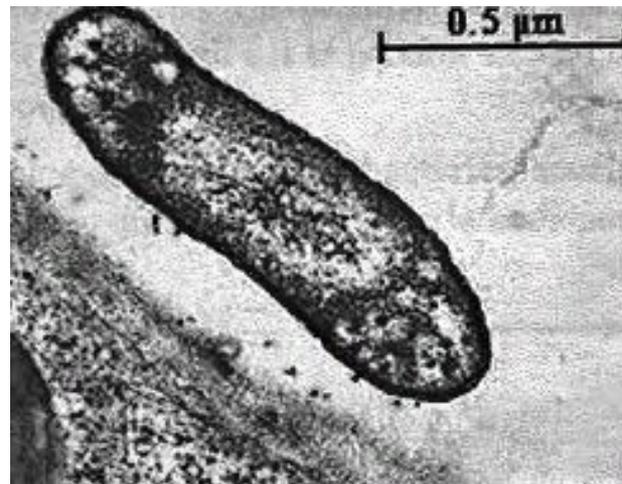


В данном процессе участвуют следующие бактерии:



Acidithiobacillus thiooxidans

Фермент сульфит Fe + оксидоредуктаза



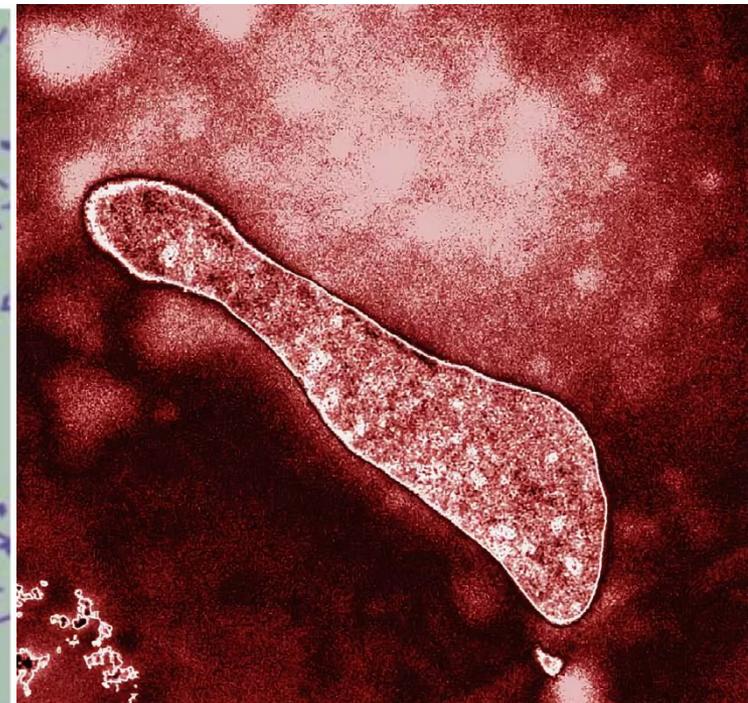
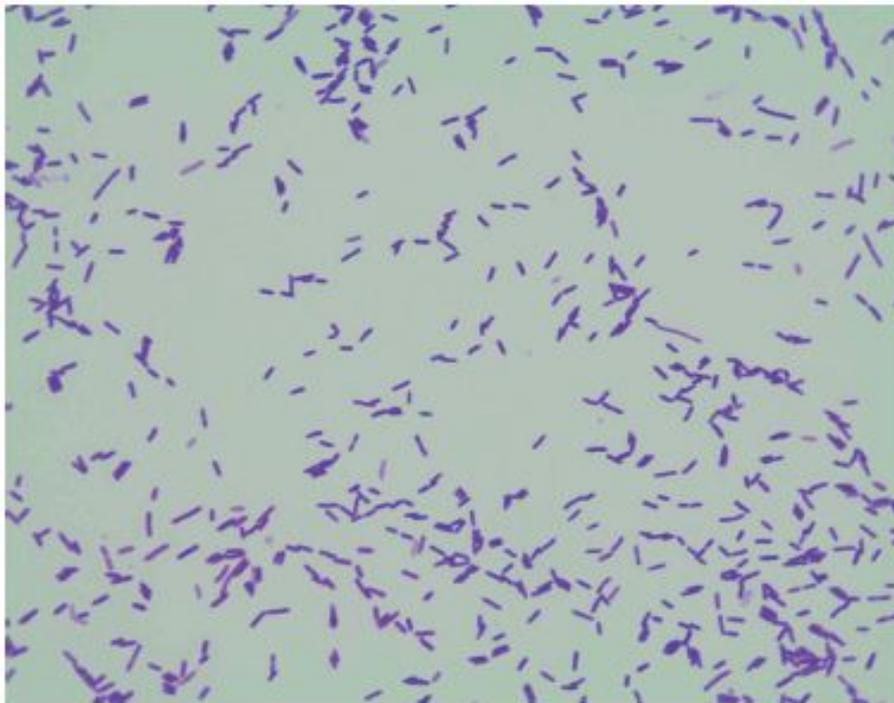
Acidithiobacillus ferrooxidans



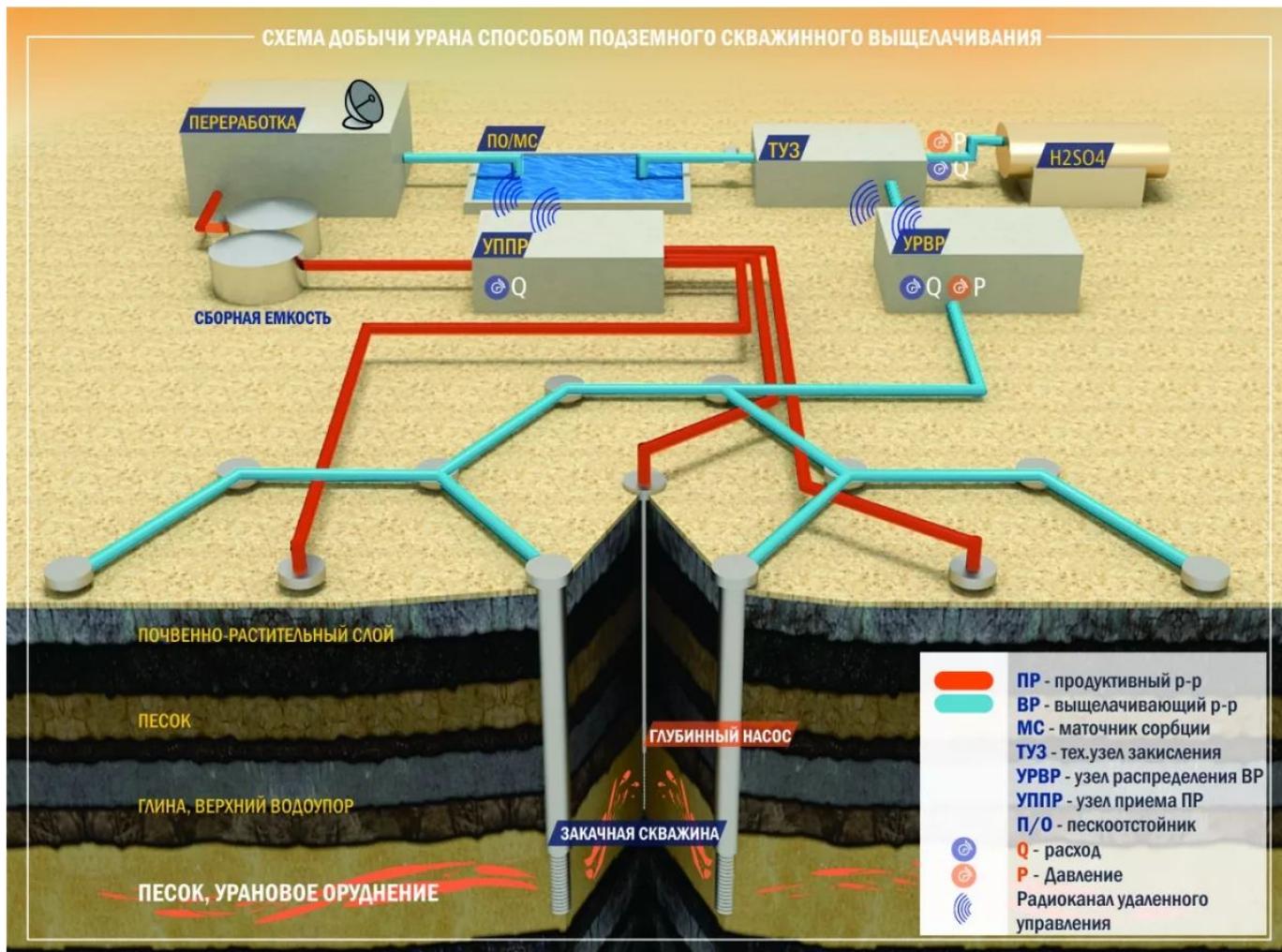
Leptospirillum ferrooxidans

Фермент серо (сульфид) Fe + оксидоредуктаза

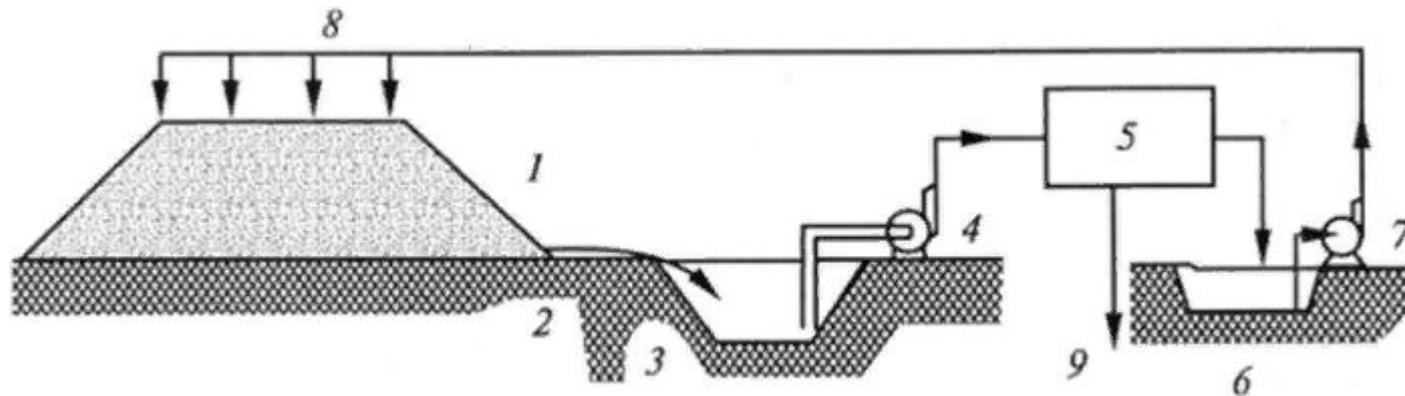
- Подробно описаны мезофильные сообщества ацидофильных хемолитотрофов, умеренно термофильные, термофильные и экстремально термофильные сообщества. В микробиоценозах обнаружены также миксотрофные организмы и гетеротрофные микроорганизмы ***Alicyclobacillus spp.***, ***Ferroplasma spp.***, ***Ferrimicrobium acidiphilum***, присутствие которых увеличивает, по мнению ряда исследователей, скорость выщелачивания металлов.



Подземное выщелачивание



Кучное выщелачивание



Выщелачивание урана

- Участие принимают *Thiobacillus ferrooxidans*

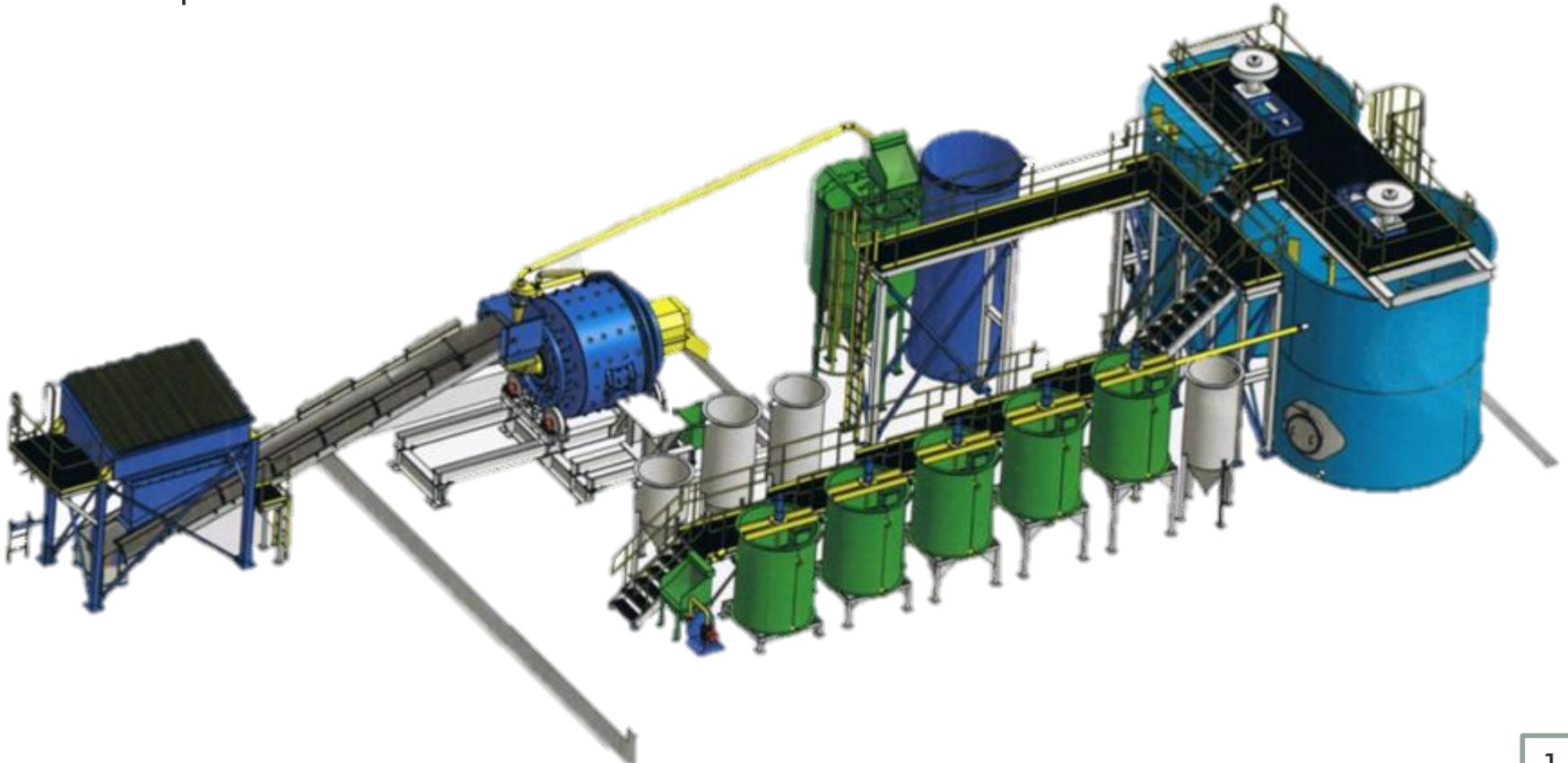


- Возможно также прямое окисление урана бактериями:



Чановое выщелачивание

Этот тип выщелачивания применяют в горнорудной промышленности для извлечения урана, золота, серебра, меди и других металлов из окисных руд или упорных сульфидных концентратов.



- Определенную проблему представляет обеспечение процесса инокулятом. Для получения активной микробной культуры существует несколько способов.
- Наиболее эффективен способ культивирования железooksисляющих бактерий в проточном электрохимическом культиваторе, что сопряжено с электровосстановлением субстрата. В промышленных масштабах чановое выщелачивание применяется при переработке комплексных медно-цинковых концентратов. В составе этих комплексных концентратов присутствуют несколько минералов — халькопирит (CuFeS_2), пирит (FeS_2), сфалерит (ZnS). За 72-96 ч выщелачивания извлекают около 90 % Zn, а также Си и Fe—соответственно 25 и 5 %.
- Оловосодержащие концентраты включают пирит, халькопирит, арсенопирит и оловянные минералы в виде окислов олова. Из этого комплекса минералов бактерии окисляют прежде всего низкопотенциальный арсенопирит (FeAsS).

Экологические аспекты

- Все технологические схемы этого способа добычи металлов - замкнутые, поэтому в значительной мере исключают выброс растворов в биосферу;
- Подземное выщелачивание исключает необходимость отвода больших участков земли под горные предприятия, при этом сохраняется ландшафт;
- Общим для всех гидрометаллургических предприятий отходом являются растворы, содержащие тяжелые металлы;
- Проблема обезвреживания твердых отходов биогидрометаллургических производств, например соединений мышьяка (арсенат железа или кальция), цианидов, роданидов и т. д.;
- Микроорганизмы, применяемые в биогеотехнологии для получения металлов, не патогенны и поэтому не представляют опасности для окружающей среды.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ