

МІКРООРГАНІЗМИ – ПЕРСПЕКТИВНА АЛЬТЕРНАТИВА У ДОБУВАННІ КОЛЬОРОВИХ І РІДКІСНИХ МЕТАЛІВ

Друга половина ХХ і початок ХХІ ст. характеризується широким проникненням мікробіології в різні сфери людської діяльності. Взаємозв'язок технічної мікробіології з іншими науками настільки глибокий, що результатом його стало виникнення нових наукових дисциплін і технологічних підходів.

Одним із важливих завдань мікробіології було і є виявлення нових видів мікроорганізмів та вивчення їхньої геохімічної діяльності в різних родовищах і водах. Це не тільки дозволить правильно пояснити багато процесів, які відбуваються в цих середовищах, а й створити базу для розробки нових технологій добування кольорових і рідкісних металів.

Вже давно мешканці багатьох приморських країн збирають морські водорості і використовують їх як прекрасний корм для тварин і цінне добриво для полів. Але крім цього морські водорості, які нагромаджують більше 1,2 відсотка йоду на сиру масу (ламінарія та ін.) нині використовуються для добування йоду. Рослини і морські тварини можуть нагромаджувати й інші цінні речовини, розчинені у воді. Наприклад, акантарія (одна із різновидів радіолярій) будує свій скелет не з оксиду кремнію, а з сульфату стронцію, вміст якого складає у воді дуже малу кількість – 0,0008 %.

Та справжніми рекордсменами з добування металів та інших цінних речовин з різних середовищ виявилися мікроорганізми, які належать до різних систематичних груп – бактерії, цвільові гриби, мікроскопічні водорості та інші, які живуть в ґрунтах, прісноводних водоймах і в морській воді.

Про вилуговування міді із руд знали ще в ХVІІ ст.[4]. Однак про участь мікроорганізмів в окисленні сульфідів і вилуговуванні кольорових металів із руд стало відомо тільки після того, як у 1947 р. було виділено із кислих рудникових вод бактерію *Tiobacillus ferrooxidans*, яка володіє здатністю окислювати оксид заліза (II) і сульфіди металів.

Нині вже добре відома суть цього процесу. Вона полягає в тому, що в результаті діяльності мікробів і дії сульфату оксиду заліза, які містяться в робочому розчині, руда вилуговується, утворені при цьому сульфатна кислота (H_2SO_4) і сульфат міді ($CuSO_4$) переходять в розчин. Цей розчин надходить у цементацийну установку, де містяться шматочки заліза. Тут відбувається реакція і утворюється сульфат оксиду заліза (II), а чиста мідь випадає в осад.

Одержана за допомогою цього способу мідь є набагато дешевшою, ніж при застосуванні інших методів добування міді із збалансованих відходів руд, в яких ще міститься значна кількість цього металу. Ще в 1964 р. за

проектом А. І. Голомзік була виготовлена перша в Росії експериментальна установка вилуговування міді за допомогою мікроорганізмів.

Останнім часом роботи з бактеріального вилуговування кольорових і рідкісних металів проводяться в багатьох країнах. Нині мікроорганізми використовують для вилуговування міді, урану, цинку, золота та інших металів. Отже, тепер вже можна говорити про виникнення нової галузі технічної мікробіології в народному господарстві – бактеріальної гідрометалургії.

Окислення сульфідів цинку, нікелю, миш'яку за допомогою залізосіркобактерій (*T. ferrooxidans*) за даними Г. І. Каравайко, С. І. Кузнєцова та ін. [4], відбувається досить швидко. Встановлено, що ці бактерії також окислюють сульфід свинцю, олова і молібдену. Однак питання про можливість застосування їх для вилуговування цих металів ще повністю не вивчено.

Відомо, що рідкісні метали індій, галій, талій, германій, кадмій, кобальт, реній, селен, телур та інші входять до складу кристалічних решіток багатьох сульфідів і є супутниками кольорових металів. За даними зарубіжних та українських вчених при окисленні сульфідних мінералів рідкісні метали виділяються і при сприятливих умовах можуть вилуговуватися.

В ряді країн (Канада та ін.) широкого застосування набув метод мікробіологічного вилуговування урану з бідних і збалансованих уранових руд. Патент на бактеріальне вилуговування золота одержали американські вчені І. Парре та ін.

Недавно в літературі з'явилися цікаві дані про те, що мікроорганізми можуть нагромаджувати і запасати різні метали. Наприклад, виявлено, що цвільові аспергілові гриби нагромаджують у своєму тілі близько 0,3 % міді, що в 30 тис. разів більше, ніж міститься цього металу в навколишньому середовищі.

Велику кількість урану нагромаджують у своїх клітинах денітрифікуючі бактерії – близько 14 %. Та чемпіонами з нагромадження урану виявилися спеціальні культури дріжджових грибів – близько 50 % [1, 6].

Механізм нагромадження металів мікроорганізмами ще дуже мало вивчений. Багато вчених різних спеціальностей працюють над цією важливою проблемою і часто виявляють нові цікаві факти. Наприклад, група канадських вчених під керівництвом Т. Беверіджа опублікувала дані про те, що бактерія сінна паличка, яка вивчається в шкільному курсі біології, при вирощуванні в розчині хлориду золота нагромаджує на своїй оболонці мікрочастинки чистого металічного золота. Виявлено також, що ця бактерія може видобувати із розчинів ще 40 металів [6].

Нині добре відомо, що золото та багато інших металів, які нагромаджуються мікробами, належать до важких металів. Багато цих металів, навіть в дуже малих концентраціях, є токсичними. Потрапивши в живий організм, вони порушують його життєдіяльність, руйнують ланцюжки

нуклеїнових кислот, інактивують ферменти та викликають інші зміни. Ці дані змусили вчених зайнятися дослідженням: чому ж тоді бактерії нагромаджують ці токсичні метали.

Це цікаве явище пояснюється тим, що важкі метали у вигляді йонів часто виявляють токсичну дію, а коли їх перевести у зв'язану форму, то вони стають не шкідливими. З цього приводу висловлюють думки, що мікроорганізми виробили властивість сорбувати ці метали, зв'язувати їх і нагромаджувати у своєму тілі у вигляді нетоксичних похідних. Звідси робляться висновки, що від форми, в якій знаходяться важкі метали, залежать такі їх властивості, як токсичність, біоаккумуляція, біодоступність тощо.

Слід зазначити і те, що не всі метали є для мікроорганізмів непотрібним баластом. Наприклад, добре відома бактерія (*Azotobacter chroococcum*) потребує заліза, оскільки цей метал входить до складу фермента нітрогенази, без якого азотобактерія не може зв'язувати молекулярний азот атмосфери. Метали можуть також входити до складу різних внутрішньоклітинних транспортних систем, підтримувати певний йонний склад клітин. Особливо цікавою щодо цього є недавно виявлена група бактерій, які живуть у прісній воді і володіють особливим видом руху – так званим магнітотаксисом. Цей рух бактерій відбувається уздовж силових ліній магнітного поля Землі.

Магнітобактерія (*Aquaspirillum magnetotacticum*) містить у своїй клітині ланцюжки магнітосомів (скупчення магнетиту $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), які подібно до магнітних стрілок орієнтують бактерію в просторі та визначають напрям руху її у воді. Важливе значення мають мікроорганізми, які нагромаджують залізо і марганець, адже ці мікроби відіграють важливу роль в ґрунтоутворювальних і геохімічних процесах. Вони беруть участь в утворенні скупчень залізомарганцевих конкрецій на дні океанів, які в недалекому майбутньому будуть розроблятися промисловим способом. Поряд з цим нагромадження металів мікробами може становити й велику небезпеку для різних ланок екологічних систем, наприклад, нагромадження радіоіотопів і алкілованих сполук металів, які є дуже токсичними речовинами.

За даними вчених, Світовий океан – це потенціально джерело різноманітних цінних речовин, запаси яких на суші вичерпуються. За приблизними підрахунками у морській воді розчинено 6 млрд т міді, 4 млрд т урану, понад 0,5 млрд т срібла, близько 10 млн т золота та багато інших речовин. Використання мікроорганізмів як живих сорбентів для видобутку цих металів у майбутньому важко переоцінити, бо мікроби, які нагромаджують метали, значно переважають хімічні сорбенти за ємністю та специфічністю сорбції.

Крім цього встановлено, що за допомогою мікробів-біосорбентів можна очищати від важких металів, у тому числі й радіоактивних, промислові стоки. Наприклад, фікоміцети видаляють із забрудненої води уран в 3,5 рази, а торій – в 2,3 рази швидше, ніж іонообмінні смоли. Денітрифікуючі бактерії через 8 хвилин після внесення у середовище знижують концентрацію урану

у воді з 25 до 0,5 мг/л.

Гранульований мікробний сорбент, до складу якого входять живі бацили, клостридії, амоніфікатори, метаногени та інші бактерії ефективно акумулює із рідких радіоактивних відходів такі радіонукліди: ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{137}Cs , ^{40}La та інші [2].

Запатентовано спосіб біологічної детоксикації стічних вод, що містять ртуть. Бактеріям, які належать до псевдомонад, методами генної інженерії вводять плазміди, які контролюють синтез білка, здатного вилучати (зв'язувати) ртуть з її сполук. Клітини, які зв'язують ртуть, спалюють, а ртуть виділяють із продуктів згоряння.

Отже, використання методів, розроблених на основі застосування біосорбентів, розширює можливості охорони довкілля і відкриває перспективи одержання цінної сировини для промисловості. Тепер мало хто сумнівається в тому, що цей новий напрямок в біотехнології має великі перспективи в майбутньому.

Література:

1. Березин И. Я. Биотехнология и ее перспективы / И. Я Березин, А. К. Яцимирский. – М. : Знание, 1986. – 64 с.
2. Блинкин С. А. Удивительные профессии микробов / С. А. Блинкин. – М. : Знание, 1974. – 88 с.
3. Векірчик К. М. Мікроорганізми і сучасна біотехнологія / К. М. Векірчик // Освітнянин. – 2003. – № 6. – С. 29–30.
4. Каравайко Г. И. Роль микроорганизмов у выщелачивании металлов из руд / Г. И. Каравайко, С. М. Кузнецов, А. И. Голомзик. – М. : Наука, 1972. – 248 с.
5. Патица В. П. Мікроорганізми і альтернативне землеробство / В. П. Патица. – К. : Урожай, 1993. – 176 с.
6. Чубуков В. Ф. Микробы запасают металлы / В. Ф. Чубуков // Химия и жизнь. – М. : Наука, 1982. – № 2. – С. 53–55.