

**Н. Ю. Васильєва, Л. І. Слюсаренко, Л. С. Нещерет,
К. І. Семенов, Т. В. Васильєва, І. А. Блайда**

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, тел.: +38 (048) 746 51 02,
e-mail: iblayda@ukr.inet

БАКТЕРІАЛЬНЕ ВИЛУГОВУВАННЯ МЕТАЛІВ З ВІДПРАЦЬОВАНОЇ МАСИ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета. Встановити можливість бактеріального вилуговування цинку і марганцю з електродної маси відпрацьованих батарейок. **Методи.** Для визначення росту ацидофільних хемолітотрофних бактерій (АХБ) використовували середовища різного компонентного і концентраційного складу, як джерела енергії – двовалентне залізо і тіосульфат. Концентрацію клітин визначали шляхом висіву на агаризовані середовища після десятикратних послідовних розведень. Вміст металів у розчинах визначали методом спектроскопії атомної абсорбції на спектрофотометрах ААС-1, С-115ПК Selmi. Результати рентгеноструктурного аналізу електродної маси батарейок записували на дифрактометрі УРС-501М. **Результати.** Встановлена можливість використання АХБ для вилуговування марганцю і цинку з електродної маси відпрацьованих батарейок. Найкращі показники вилучення металів протягом 7 діб реєстрували на середовищах 9К1 з двовалентним залізом у концентрації 44,5 г/дм³. При продовженні терміну вилуговування до 14 діб підвищення ступеню вилучення металів реєстрували тільки на живильному середовищі 15 з тіосульфатом. Додавання суспензії *Acidithiobacillus ferrooxidans* МФ Lv 7 до живильних середовищ значно підвищувало ступінь вилучення металів: марганцю до 30,0% і цинку до 99,8%. Рентгеноструктурний аналіз показав відсутність сполук ZnO і MnO у структурі електродної маси після бактеріального вилуговування, а також зменшення кількості MnO₂, збільшення Mn₂O₃ і появу Mn₃O₄. **Висновки.** Встановлена можливість використання АХБ для вилучення металів з електродної маси відпрацьованих батарейок, що сприяє додатковому отриманню цинку і марганцю і попереджає забрудненню довкілля екологічно небезпечними сполуками.

Ключові слова: бактеріальне вилуговування, ацидофільні хемолітотрофні бактерії, цинк, марганець, електродна маса батарейок.

Проблема утилізації та переробки електродної маси відпрацьованих джерел живлення набуває глобального характеру і стає все більш актуальною, бо вони містять токсичні метали та їх сполуки у великій концентрації. В розвинених країнах ця проблема вирішується шляхом збору та вторинної переробки відпрацьованих елементів живлення. В Європі є три заводи, які мають потужності для переробки батарейок. Один з них працює в Україні – це Львівське державне підприємство «Аргентум». На цих підприємствах

© Н. Ю. Васильєва, Л. І. Слюсаренко, Л. С. Нещерет, К. І. Семенов, Т. В. Васильєва, І. А. Блайда, 2018



переробку електродних відходів здійснюють звичайними піро- та гідрометалургійними методами, недоліком яких є необхідність використання кислот, високого тиску і температур [7, 6, 14].

У теперішній час перевагою користуються біотехнологічні методи знешкодження таких відходів. В оглядовій статті [13] автори використовували для вилучення металів з різних електронних відходів (електронний лом, відпрацьовані батарейки тощо) ацидофільні хемолітотрофні бактерії (АХБ) і гриби. Встановлено, що *Thiobacillus thiooxidans* DSM 622, *T. ferrooxidans* DSM 2392, *Aspergillus niger*, *Penicillium simplicissimum* сприяли вилученню міді на рівні 90,0–95,0 % [10]. Є дані про вилучення металів з електродного лому не тільки чистими мезофільними бактеріями, але й помірно термофільною аборигенною асоціацією, яку отримали з відпрацьованих електродних субстратів. Такий консорціум здатний вилучати з відпрацьованих електродних відходів більш 81,0% Ni, 89,0% Cu, 79,0% Al і 83,0% Zn [12]. Наявні результати поодинокі, носять розрізнений, іноді суперечливий характер. Крім того, треба відзначити відсутність вітчизняних досліджень в цьому напрямку.

Мета роботи – встановити можливість бактеріального вилуговування цинку і марганцю з електродної маси відпрацьованих батарейок.

Матеріали та методи

Проведення досліджень щодо вилучення цинку і марганцю з електродної маси відпрацьованих батарейок ґрунтується на використанні розробленого авторами даної статті біотехнологічного методу вилуговування металів із породних відвалів центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська», золи-виносу Ладижинської і золи-шлаку Добротвірської теплоелектростанцій [1, 2, 9].

Об'єктом досліджень була електродна маса відпрацьованих батарейок з застосуванням діоксиду марганцю як окиснювача, порошкоподібного цинку високого ступеню очищення як відновника, яка також містить згущувач, розчин електроліту, пригнічувач корозії та ацетиленову сажу як наповнювач. Основними цінними компонентами електродної маси є марганець і цинк.

Біотехнологічний процес вилуговування металів з електродної маси відпрацьованих батарейок проводили в лабораторних установках об'ємом 0,5 дм³, куди вносили 0,1 дм³ живильного середовища і 10,0 г електродної маси, що відповідало співвідношенню твердої фази (електродна маса) до рідкої (живильне середовище) 1:10. Вилуговування металів проводили за температури 32,0±0,5 °С і 45,0±0,5 °С протягом 7 і 14 діб. Значення рН до ≤ 2,0 доводили 0,1 N H₂SO₄ [2, 9].

Дослідження проводили з використанням АХБ, тому що вони відіграють важливу роль у процесах вилуговування металів з природних і техногенних субстратів [1, 4]. Для розвитку клітин і прояви окиснювальної дії АХБ використовували стандартне середовище Сільвермана-Лундгрема 9К з двовалентним залізом як джерело енергії [11] і живильне середовище 15 з тіосульфатом. Склад живильних середовищ наведено у табл. 1. Додатково до живильних середовищ додавали суспензію штаму *Acidithiobacillus ferrooxidans* МФ Lv 7 у кількості 2,0 об. %, що відповідало концентрації клітин у живильних



середовищах на рівні 10^2 КУО/мл. Штам *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 був отриманий з аборигенної асоціації породних відвалів вуглезбагачення Львівсько-Волинського вугільного басейну і використовувався для вилучення германію з відходів паливно-енергетичного комплексу України [3]. Контрольним дослідом слугувала обробка стерилізованої у автоклаві при 121 атм протягом 20 хв електродної маси дистильованою водою.

Таблиця 1

Склад живильних середовищ (г/дм³), що використовувалися як вилуговуючі розчини

Table 1

Composition of nourishing media (g/dm³) used as leaching solutions

Компоненти середовищ	Середовище 15	Середовище 9К1	Середовище 9К2
MgSO ₄ × 7H ₂ O	0,5	0,5	0,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	2,02	3,0	3,0
MgCl ₂ × 6H ₂ O	-	-	-
NH ₄ Cl	0,9	-	-
KCl	1,0	0,1	0,1
K ₂ HPO ₄	1,0	0,5	0,5
KH ₂ PO ₄	-	-	-
Ca(NO ₃) ₂	-	0,01	0,01
Na ₂ S ₂ O ₃	5,0	-	-
FeSO ₄ × 7H ₂ O	-	44,5	4,0

Забарвлений мікроскопічний препарат вивчали за допомогою світлової мікроскопії. Концентрацію клітин визначали шляхом висіву на агаризовані середовища після десятикратних послідовних розведень.

Вміст металів, що перейшли з твердої фази до розчину, визначали методом спектроскопії атомної абсорбції на спектрофотометрах ААС-1, С-115ПК Selmi [8]. Рентгенограми субстратів записували на дифрактометрі УРС-50ІМ за умов: Cu/Kα-випромінювання, 35 kV, 8 mA, швидкість обертання зразка 1 град/хв.

Результати та їх обговорення

Результати спектроскопії атомної абсорбції вихідної електродної маси відпрацьованих батарейок свідчать про високу концентрацію марганцю (226,9 г/кг) і у 2,6 разів менший вміст цинку (87,4 г/кг). Згідно з результатами рентгеноструктурного аналізу в досліджуваній електродній масі, виявлені сполуки марганцю – MnO, MnO₂, Mn₂O₃ і цинку – ZnO; а також графіт, що відіграє роль наповнювача (табл. 2).



Таблиця 2

Вміст (%) сполук досліджуваних металів в електродній масі батарейок

Table 2

Content (%) of investigated metals compounds in electrode mass of spent batteries

Електродна маса	Сполуки, %					
	С (графіт)	MnO ₂	Mn ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	MnO	ZnO
До обробки	30,3	17,6	14,5	-	16,3	21,3
Контроль	30,4	17,2	14,5	-	16,1	21,4
Після обробки із середовищем 9K1	<15,0	<4,0	47,0	22,0	-	-
Після обробки із середовищем 9K1 та суспензією <i>A. ferrooxidans</i> МФ Lv 7	<17,0	<6,0	51,0	26,0	-	-

На отриманих рентгенограмах вихідного зразка електродної маси (рис. 1) чітко видно піки сполук MnO (з основними віддзеркаленнями від площини, параметри решітки яких складають 4,1837; 3,3327; 3,2297 Å), ZnO (3,0669; 2,8176; 2,6008; 2,4766 Å), а також Mn₂O₃ (4,2245; 3,8454; 2,7227; 2,5163; 2,3557 Å) і MnO₂ (4,0455; 3,2297; 3,5642; 2,5531; 2,4162 Å).

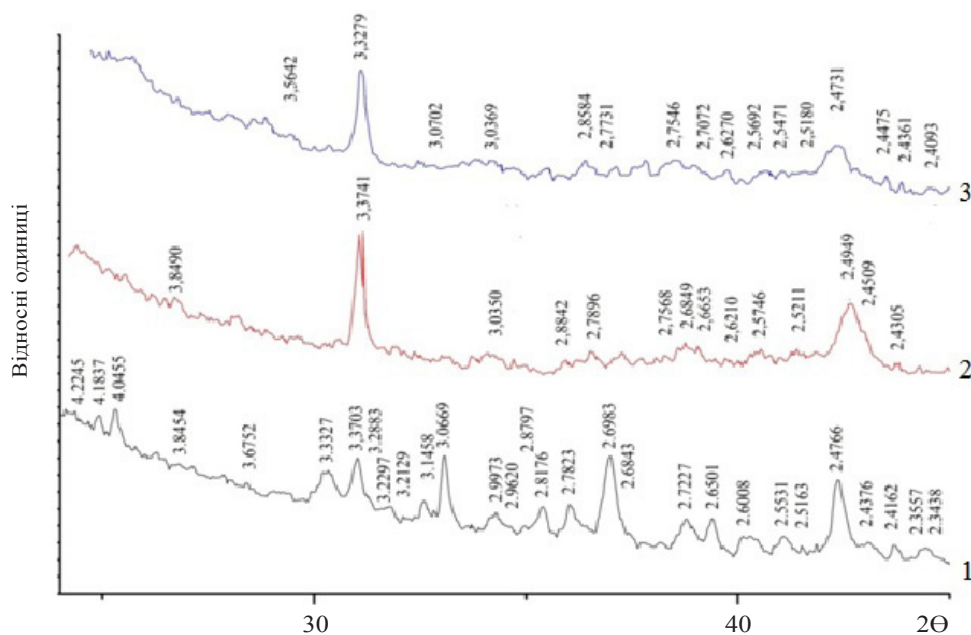


Рис. 1. Рентгенограми електродної маси батарейок:

1 – до обробки; 2 – після обробки з використанням середовища 9K1 і суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 3 – після обробки з використанням середовища 9K1.

Fig. 1. X-ray structural analysis of electrode mass of spent batteries:

1 – before treatment; 2 – after treatment with using 9K1 medium and suspension of *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 3 – after treatment with using 9K1 medium.



Результати спектроскопії атомної абсорбції та рентгеноструктурного аналізу відповідають характеристики наповнювачів батарейок [5].

Протягом усього терміну експерименту на усіх живильних середовищах – 9К1, 9К2 і 15 – як з додаванням суспензії штаму *A. ferrooxidans* МФ Lv 7, так і без неї, спостерігали ріст клітин АХБ, однак з різною швидкістю. Через 7 діб на середовищах 9К1 і 15 без суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 концентрація клітин досягала 10^2 КУО/мл; на середовищі 9К2 ріст клітин був більш активний і досягав концентрації 10^4 КУО/мл. Через 14 діб кількість клітин на середовищах 9К1 і 9К2 зростала до 10^6 КУО/мл; на середовищі 15 – до 10^4 КУО/мл. Цей ріст відбувався за рахунок розвитку представників АХБ аборигенної асоціації електродної маси батарейок на сприятливих живильних середовищах з використанням джерел енергії. У досліді з додаванням бактеріальної суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 накопичення біомаси АХБ відбувалося значно активніше: через 7 діб на середовищах 9К1 і 15 цей показник був на рівні 10^5 КУО/мл, на середовищі 9К2 досягав 10^6 КУО/мл. Протягом 14 діб спостерігали зростання кількості бактерій до 10^8 , 10^9 і 10^7 КУО/мл на середовищах 9К1, 9К2 і 15 відповідно.

Накопичення бактеріальних клітин супроводжувалося вилученням цинку і марганцю з електродної маси відпрацьованих батарейок, але ефективність вилуговування була різною (рис. 2, 3).

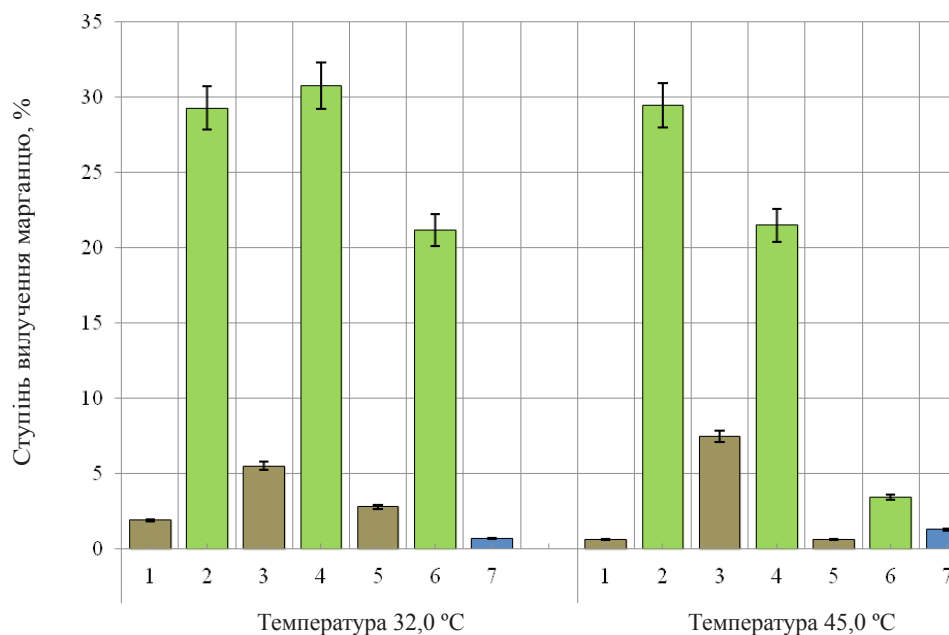


Рис. 2. Вилучення марганцю з електродної маси на середовищах:
 1 – 15; 2 – 15 і суспензія *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 3 – 9К1; 4 – 9К1 і суспензія *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 5 – 9К2; 6 – 9К2 і суспензія *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 7 – контрольний дослід. Термін – 7 діб.

Fig. 2. Removal of manganese from electrode mass on nutrient media:
 1 – 15; 2 – 15 with suspension *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 3 – 9K1; 4 – 9K1 15 with suspension *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 5 – 9K2; 6 – 9K2 15 with suspension *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 7 – control experience. Period – 7 days.



Вилучення марганцю було незначним і досягало 5,0 та 7,5% відповідно при температурі $32,0 \pm 0,5$ та $45,0 \pm 0,5$ °C через 7 днів вилуговування лише на середовищі 9K1 з концентрацією $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, яка є оптимальною для вилуговування металів [4, 9]. Додавання суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 до живильних середовищ сприяло значному підвищенню ефективності вилучення марганцю: до 31,5% при температурі $32,0 \pm 0,5$ °C і до 29,5% при $45,0 \pm 0,5$ °C протягом 7 днів (рис. 2).

Ефективність бактеріального вилуговування цинку була значно вищою, ніж марганцю. Найбільший ступінь вилуговування цинку у мезофільних і помірно термофільних умовах, як і при вилученні марганцю, реєстрували на середовищі 9K1 з оптимальною для вилуговування металів концентрацією двовалентного заліза, однак вона не перевершувала 20,0 % на середовищі 9K1 без додавання суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 (рис. 3). Додавання суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 сприяло значному підвищенню ефективності вилуговування цинку: до 73,7, 76,3 і 99,8 % відповідно на середовищах 15, 9K2 і 9K1 у мезофільних умовах; у помірно термофільних умовах з використанням середовищ 15 і 9K1 цинк повністю переходив з твердої фази до розчину.

При продовженні терміну експерименту до 14 днів значне зростання вилучення марганцю і цинку реєстрували тільки на середовищі 15 з тіосульфатом. У цьому випадку вилуговування у мезофільних і помірно термофільних

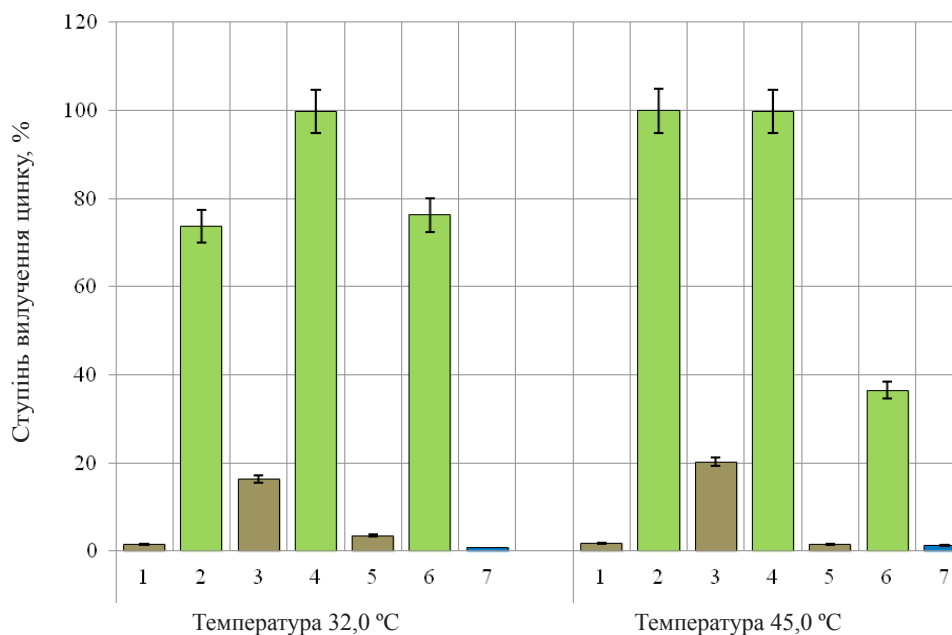


Рис. 3. Вилучення цинку з електродної маси на середовищах:

1 – 15; 2 – 15 і суспензія *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 3 – 9K1; 4 – 9K1 і суспензія *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 5 – 9K2; 6 – 9K2 і суспензія *A. ferrooxidans* МФ Lv 7; 7 – контрольний дослід. Термін – 7 днів.

Fig. 3. Removal of zinc from electrode mass on nutrient media:

1 – 15; 2 – 15 with suspension *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 3 – 9K1; 4 – 9K1 15 with suspension *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 5 – 9K2; 6 – 9K2 15 with suspension *A. ferrooxidans* MF Lv 7; 7 – control experience. Period – 7 days.



умовах зростало у 4 та 17 разів для марганцю і у 25 і 13 разів для цинку.

Отримані результати свідчать, що максимальне вилуговування марганцю і цинку з електродної маси батарейок впродовж 7 діб відбувалося при високих концентраціях двовалентного заліза як джерела енергії. При проведенні процесу вилуговування до 14 діб найбільш ефективний перехід марганцю і цинку до розчину відбувався у присутності тіосульфату як джерела енергії. Ці результати відповідають наявним літературним даним і пояснюються таким чином: при використанні Fe^{2+} як джерела енергії під впливом представників АХБ відбувається окиснення Fe^{2+} до Fe^{3+} , який у свою чергу є сильним окиснювачем і сприяє активному вилученню металів, зокрема, марганцю і цинку. Тіосульфатне вилуговування відбувається більш повільно із створенням проміжних продуктів – політіонатів, тетратіонатів тощо, що супроводжується підвищенням активності ацидофільних хемолітотрофних бактерій і, відповідно, вилученням металів в розчин [4].

Результати рентгеноструктурного аналізу свідчать, що структура і склад електродної маси батарейок до і після вилуговування відрізняються, і ці зміни є більш вираженими при додаванні до живильного середовища суспензії *A. ferrooxidans* МФ Lv 7 (рис. 1, криві 2 і 3). Так, в електродній масі після вилуговування практично відсутні ZnO та MnO; кількість MnO_2 зменшується у 3–4 рази, але збільшується кількість Mn_2O_3 (3,8490; 2,6849 і 2,2155 Å), з'являється нова сполука Mn_3O_4 (3,3741; 3,0702; 3,0350; 2,8584; 2,7546; 2,6653; 2,5211; 2,4949; 2,4731; 2,4509; 2,4475 Å). У контрольному досліді ніяких змін у структурі і складі електродної маси не відбувається. На підставі отриманих результатів і базуючись на знаннях з хімії цинку і марганцю, можна припустити, що у кислому середовищі під впливом бактерій йде вилучення оксидів металів у розчин, в даному випадку в основному у вигляді сульфатів, за реакцією:



де Me – Zn або Mn.

Частина присутніх у вихідній електродній масі полівалентних оксидів марганцю під впливом асоціації АХБ і компонентів живильного середовища здатна утворювати нові фази – Mn_2O_3 і Mn_3O_4 , що можна представити рівняннями:



Тому кількість Mn_2O_3 у електродній масі після обробки зростає майже у 4 рази, а також з'являється сполука Mn_3O_4 , яка відсутня у вихідній електродній масі (табл. 2).

Дослідженнями встановлена можливість вилучення марганцю і цинку з електродної маси відпрацьованих батарейок з використанням ацидофільних хемолітотрофних бактерій. Бактеріальне вилуговування відбувалося як



у мезофільних, так і помірно термофільних умовах, але з різною ефективністю. Показано, що при проведенні досліджень протягом 7 діб оптимальним є середовище 9К1 з додаванням двовалентного заліза як джерела енергії з концентрацією 44,5 г/дм³, а при продовженні процесу вилуговування до 14 діб – середовище 15 з додаванням тиосульфату як джерела енергії. Додавання суспензії штаму *Acidithiobacillus ferrooxidans* sp. МФ Lv 7 до живильних середовищ супроводжувалося значним зростанням кількості бактеріальних клітин і сприяло підвищенню ефективності вилучення марганцю у процесі вилуговування в розчин з 5,0 (без суспензії) до 30,0%, а цинку – з 20,0 (без суспензії) до 99,8%, в основному, у вигляді розчинних сульфатів.

Підхід, який пропонується для утилізації електродної маси відпрацьованих батарейок, є екологічно безпечним, ресурсозберезливим, буде сприяти додатковому отриманню цінних металів, що мають народногосподарське значення, і попереджати забруднення довкілля екологічно небезпечними іонами важких металів.

**Н. Ю. Васильєва, Л. И. Слюсаренко, Л. С. Нещерет,
К. И. Семенов, Т. В. Васильєва, И. А. Блайда**

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина, тел.: +38(048) 746 51 02,
e-mail: iblayda@ukr.net

БАКТЕРИАЛЬНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОТРАБОТАННОЙ МАССЫ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Реферат

Цель. Установить возможность бактериального выщелачивания цинка и марганца из электродной массы отработанных батареек. **Методы.** Для определения роста ацидофильных хемолитотрофных бактерий (АХБ) использовали среды различного компонентного и концентрационного состава, в качестве источников энергии – двухвалентное железо и тиосульфат. Концентрацию клеток определяли путем высевов на агаризованные среды после десятикратных последовательных разведений. Содержание металлов в растворе определяли методом спектроскопии атомной абсорбции на спектрофотометрах ААС-1, С-115ПК Selmi. Результаты рентгеноструктурного анализа электродной массы батареек записывали на дифрактометре УРС-50ИМ. **Результаты.** Установлена возможность использования АХБ для выщелачивания марганца и цинка из электродной массы отработанных батареек. Наилучшие показатели извлечения металлов в течение 7 суток регистрировали на средах 9К1 с двухвалентным железом в концентрации 44,5 г/дм³. При продлении срока выщелачивания до 14 суток повышение степени извлечения металлов регистрировали только на питательной среде 15 с тиосульфатом. Добавление суспензии *Acidithiobacillus ferrooxidans* МФ Lv 7 к питательным средам значительно повышало степень извлечения металлов: марганца до 30,0% и цинка до 99,8%. Рентгеноструктурный анализ показал отсутствие в структуре электродной массы батареек после бактериального выщелачивания соединений ZnO и MnO, а также уменьшение



количества MnO_2 , увеличение Mn_2O_3 и появление Mn_3O_4 . **Выводы.** Показана возможность использования АХБ для извлечения металлов из электродной массы отработанных батареек, что способствует дополнительному получению цинка и марганца и предупреждает загрязнение окружающей среды экологически опасными соединениями.

Ключевые слова: бактериальное выщелачивание, ацидофильные хемолитотрофные бактерии, цинк, марганец, электродная масса батареек.

**N. Yu. Vasyleva, L. I. Slusarenko, L. S. Nescheret,
K. I. Semenov, T. V. Vasyleva, I. A. Blayda**

Odesa National Mechnykov University, 2, Dvoryanska St.,
Odesa, 65082, Ukraine,

tel.: +38 (048) 746 51 02, e-mail: iblayda@ukr.net

BACTERIAL LEACHING OF THE METALS FROM THE SPENT MASS OF FUEL ELEMENTS

Summary

Aim. To establish the possibility of bacterial leaching of zinc and manganese from the electrode mass of spent batteries. **Methods.** To determine the growth of acidophilic chemolithotrophic bacteria of acidophilic chemolithotrophic bacteria (ACB) there were used the media of different component and concentration composition. Ferrous iron and thiosulfate were used as energy sources. The amount of cells was determined by seeding on solid medium after tenfold serial dilutions. Stained microscopic preparation was examined by light microscopy. The method of atomic absorption spectroscopy with using AAS-1, S-115PK Selmi instruments was used to determine the content of metals in solutions. The results of determining the structural analysis of the electrode mass of spent batteries were recorded on a URS-50IM diffractometer. **Results.** The possibility of using AHB for leaching manganese and zinc from the electrode mass of spent batteries was established. The maximum metal leaching within a week was recorded when there were used the media 9K1 with ferrous iron at concentration of 44.5 g/dm³. When extending the term of leaching to a fortnight there were registered high intensity of biological leaching of the metals from electrode mass of spent batteries only in case of using the nutrient medium No. 15. It was shown that the using of the suspension *Acidithiobacillus ferrooxidans* MF Lv 7 increases the degree of manganese extraction to 30.0%, and zinc to 99.8%. The differences in the structure of the electrode mass of spent batteries before and after bacterial leaching, namely the absence of ZnO and MnO, decrease in the amount of MnO₂, increase in Mn₂O₃, and appearance of Mn₃O₄ has been shown with help of X-ray diffraction analysis. **Conclusions.** The possibility of using ACV for bacterial leaching of metals from the electrode mass of spent batteries was shown. The obtained results make it possible to additionally getting zinc and manganese and preventing environmental pollution by environmentally hazardous compounds.

Key words: bacterial leaching, acidophilic chemolithotrophs bacteria, zinc, manganese, electrode weight of spent batteries.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Блайда И. А.* Извлечение ценных металлов при переработке промышленных отходов биотехнологическими методами (Обзор) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 6. – С. 39–45.
2. *Блайда И. А., Слюсаренко Л. И., Васильева Т. В., Васильева Н. Ю., Джамбек О. И., Джамбек А. А., Иваница В. А.* Возможности извлечения германия из промышленных отходов с применением гидрометаллургических и микробиологических методов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2008. – № 5. – С. 50–54.
3. *Блайда И. А., Васильева Т. В., Баранов В. И., Семенов К. И., Слюсаренко Л. И., Барба И. Н.* Свойства новых штаммов хемолитотрофных бактерий, выделенных из техногенных субстратов / Properties of chemolithotrophic bacteria new strains isolated from industrial substrates // Biotechnologia Acta. – 2015. – Vol. 8 (6). – P. 56–62. doi: 10.15407/biotech8.06.056.
4. *Каравайко Г. И., Дубинина Г. А., Кондратьева Т. Ф.* Литотрофные микроорганизмы окислительных циклов серы и железа // Микробиология. – 2006. – Т. 75, № 5. – С. 593–629.
5. *Ковалев В. З.* Химические источники энергии. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 66 с.
6. *Ларин В. И., Хоботова Э. Б., Даценко А. А.* Утилизация активной никелевой массы из отработанных железо-никелевых аккумуляторов // XIII (ежегодная) международная научно-техническая конференция "Экология и здоровье человека, охрана водного и воздушного бассейнов, утилизация отходов" (13-17 июня 2005 г., г. Алушта). – Сборник научных трудов. – Харьков-Алушта, 2005. – С. 813–818.
7. *Марьев В. А., Комиссаров В. А.* Об организации переработки батарей // Экологический Вестник России – 2012. – Т. 12. – С. 21–23.
8. *Хавезов И., Цалев Д.* Атомно-абсорбционный анализ. - Л.: Химия, 1983. – 144 с.
9. *Blayda I. A.* Composition and activity of bacterial community of coal tailing // Biotechnologia Acta. – 2014. – Vol. 7, № 5. – P. 94–100.
10. *Brandl H., Bosshard R., Wegmann M.* Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi // Hydrometallurgy 59. – 2001. – P. 319–326.
11. *DSMZ: List of Recommended Media for Microorganisms.* Режим доступа: <https://www.dsmz.de/catalogues/catalogue-microorganisms/culture-technology/list-of-https://www.dsmz.de/catalogues/catalogue-microorganisms/culture-technology/list-of-media-for-microorganisms.html>
12. *Ilyas Sadia, Anwar Munir A., Niazi Shahida B., Ghauri M. Afzal.* Bioleaching of metals from electronic scrap by moderately thermophilic acidophilic bacteria // Hydrometallurgy. – 2007. – Vol. 88. – P. 180–188.
13. *Willner Joanna, Fornalczyk Agnieszka.* Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching // Environment Protection Engineering. – 2013. – Vol. 39, N 1. – P. 197–208.
14. *Willner J., Kadukova J., Fornalczyk A., Saternus M.* Biohydrometallurgical methods for metals recovery from waste materials // Metalurgija. – 2015. – Vol. 54, N 1. – P. 255–258.



References

1. *Blayda IA*. Extraction of valuable metals during processing of industrial wastes by biotechnological methods (Review). *Energotehnologii i resursoberezhnie*. 2010;(6):39 – 45 (In Ukrainian).
2. *Blayda IA, Vasyliieva TV, Sliusarenko LI, Khitrich VF, Ivanytsia VO*. Retrieval of rare and non-ferrous metals by a community of microorganisms from ash after burning of Pavlograd coal. *Microbiology and Biotechnology*. 2012;(3):91 – 101 (In Ukrainian).
3. *Blayda IA, Vasyliieva TV, Baranov VY, Semenov KY, Sliusarenko LI, Barba YN*. Properties of chemolithotrophic bacteria new strains isolated from industrial substrates. *Biotechnologia Acta*. 2015;(8)6: 56 – 62. doi: 10.15407/biotech8.06.056.
4. *Karavaiko HY, Dubynyna HA, Kondrateva TF*. Lithotrophic microorganisms of oxidation cycles of sulfur and iron. *Mykrobiolohyia*. 2006;(75)5: 593 – 629.
5. *Kovalev VZ*. Chemical sources of energy: Lecture notes / V. Z. Kovalev, E. M. Zavialov. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2005. – 66 p.
6. *Larin VI, Khobotova EB, Datsenko AA*. Utilization of active mass of nickel from spent iron-nickel batteries. In: XIII (ezhegodnaya) mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Ekologiya i zdorove cheloveka, ohrana vodnogo i vozdušnogo basseynov, utilizatsiya othodov", Harkov-Alushta, Ukrain. 2005: 813 – 818.
7. *Marev VA, Komissarov VA*. About organization of battery processing. *Ekologicheskii Vestnik Rossii*. 2012;(12):21 – 23.
8. *Khavezov I, Tsalev D*. Atomic absorption analysis. – L.: Khimiia, 1983. – 144 p.
9. *Blayda IA*. Composition and activity of bacterial community of coal tailing. *Biotechnologia Acta*. 2014;(7)5:94 – 100.
10. *Brandl H, Bosshard R, Wegmann M*. Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. *Hydrometallurgy*. 2001;(59):319 – 326.
11. DSMZ: List of Recommended Media for Microorganisms – elektronnyi resurs, <https://www.dsmz.de/catalogues/catalogue-microorganisms/culture-technology/list-of-media-for-microorganisms.html>
12. *Ilyas Sadia, Anwar Munir A, Niazi Shahida B, Ghauri MAfzal*. Bioleaching of metals from electronic scrap by moderately thermophilic acidophilic bacteria. *Hydrometallurgy*. 2007;(88):180 – 188.
13. *Willner J, Fornalczyk A*. Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching. *Environment Protection Engineering*. 2013;39(1):197 – 208.
14. *Willner J, Kadukova J, Fornalczyk A, Saternus M*. Biohydrometallurgical methods for metals recovery from waste materials. *Metallurgija*. 2015; (54)1: 255 – 258.

Стаття надійшла до редакції 11.10.2017 р.

