

# ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩИХ РАСТВОРОВ НА ПРОЦЕССЫ БАКТЕРИАЛЬНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

*И. А. Блайда  
Т. В. Васильева  
Л. И. Слюсаренко  
Б. Н. Галкин  
В. А. Иванюца*

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова

*E-mail: iblayda@ukr.net*

Получено 23.09.2011

Установлена высокая окислительная активность аборигенной микробиоты, которая доминирует в золошлаковых отходах сжигания углей и представлена мезофильными, умеренно термофильными и термофильными ацидофильными железо-, сероокисляющими бактериями.

Изучено влияние компонентного и концентрационного состава выщелачивающих растворов на эффективность извлечения сообществом ацидофильных хемолитотрофных бактерий германия, циркония, никеля, марганца и цинка из золы. Выявлена зависимость извлечения микроколичеств германия, циркония и сопутствующих макрокомпонентов исследуемого сырья от минерального состава выщелачивающих растворов (на основе рецептур питательных сред 9Ж, Летена, для железоокисляющих бактерий) и источников энергии (тиосульфат, тиомочевина, железо(II)). Установлено, что в первую очередь извлекаются и переходят в раствор германий, никель и цирконий. Определены наиболее эффективные сочетания «минеральный состав + источник энергии», при которых достигается степень извлечения металлов из золы углей (%): Ge — 85,0; Ni — 75,0; Zr — 45,9.

**Ключевые слова:** сообщество ацидофильных сероокисляющих хемолитотрофных бактерий, выщелачивающие растворы, источники энергии, золы от сжигания углей, германий, цирконий.

В минеральную часть природных углей наряду с кремнием, алюминием, железом, кальцием, магнием и др. входят редкие металлы — германий, галлий, скандий, иттрий, цирконий, имеющие промышленное и коммерческое значение [1, 2]. После использования углей на предприятиях металлургической и энергетической промышленности происходит концентрирование этих металлов в золошлаках и зольных уносах, поэтому отходы от сжигания углей в настоящее время рассматриваются как перспективные нетрадиционные источники редких, цветных и драгоценных металлов [3–5]. Для их получения из природных руд и минералов в последнее время широко используют биогеохимические методы, в основе которых лежит процесс окисления природными микроорганизмами сульфидов металлов и элементов с переменной валентностью, в результате чего металлы из нерастворимой формы переходят в растворимую [6–8]. Сведения об использовании этого перспек-

тивного метода для переработки промышленных отходов с целью извлечения из них ценных микро- и макросоставляющих в литературе ограничены [9, 10].

Техногенные отходы предприятий металлургической и энергетической промышленности представляют собой бедную органическими веществами систему. Данные о таксономическом составе, физиолого-биохимических особенностях и практически полезных свойствах микроорганизмов, обитающих в этих искусственных экосистемах, отсутствуют. Изучение микробного состава минерального сырья природного происхождения свидетельствует о наличии представителей мезофильных и умеренно термофильных сероокисляющих бактерий. Оценка их биогеохимической активности показывает, что эти микроорганизмы в природных условиях играют важную роль в выщелачивании металлов из сульфидных руд. Аналогичные процессы могут происходить и в минеральном сырье техногенного происхождения

[10–13]. В роботі [14] показана бактеріально-хімічна природа гідрометалургічних процесів, протікаючих при впливі на промислові відходи вищелачиваючих розчинів на основі водних або неагресивних слабкокислих серед. Визначено внесок у процес вилучення металів у розчин власної мікробіоти сировини, представленої мезофільними, помірно термофільними і термофільними ацидофільними залізо-, сероокислюючими бактеріями.

Мета роботи — вивчення впливу складу вищелачиваючих розчинів на вилучення спільнотами ацидофільних сероокислюючих бактерій рідких металів із золи від спалення вугілля.

### Матеріали і методи

У роботі використовували золотоплавильні відходи, що утворюються при спаленні Павлоградських енергетических вугілля на Ляджинській ТЕС (Україна) наступного хімічного складу (%): Al — 5,94; Si — 45,34; Fe — 1,58; Ge — 0,07; Zr — 0,02; Mn — 0,05; Ni — 0,005; Zn — 0,007; Ca+Mg — 1,24; S — 1,23. Вивчається сировина представляє собою дрібнодисперсний пилевидний продукт, представлений однорідними частинками сірого кольору розміром  $\leq 1 \pm 0,05$  мм. Основними фазами сировини є кварц  $\alpha\text{-SiO}_2$ , оксиди заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і алюмінію  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , в значительній кількості містяться також карбонати і силікати. У процесі вищелачивання слідити за поведінкою цих компонентів сировини, які знаходяться в мікрокількостях і входять у кристалічну решітку основних фаз субстрату як ізоморфні домішки, — германій, цирконій, цинк, нікель, марганець. Визначали ступінь вилучення металів у розчин (%) відносно до вмісту металу в вихідному твердому субстраті. За цим показником судили про активність аборигенної мікробіоти вихідного продукту з точки зору її здатності руйнувати достатньо стійкі кристалічні структури основних фаз.

Об'єктом дослідження служило спільнота ацидофільних сероокислюючих хемолітотрофних бактерій, що мешкають у вивчаєму субстраті. Особливу увагу в наших дослідженнях було приділено тионовим бактеріям. Ці організми здатні існувати в широкому діапазоні значень температури і рН, в тому числі екстремальних, є однією з провідних груп у мікробіотіценозах, які при-

ймають участь у бактеріально-хімічних процесах вищелачивання металів із руд і природних концентратів в мезофільних і помірно термофільних умовах [10, 14–17].

У традиційній гідрометалургії як вищелачиваючі використовують розчини кислот, лугів, рідше води; ці процеси часто ведуть при високій температурі і тиску. Вищелачиваючі розчини у технології біогідрометалургії — це розчини поживних серед, рекомендованих для активізації життєдіяльності певної групи мікроорганізмів, що мешкають у сировині.

Методичною основою виконаних досліджень було використання як вищелачиваючих розчинів для вилучення металів із вивчаємого субстрату поживних серед, рекомендованих для ацидофільних тионових бактерій. У основу рецептури вищелачиваючого розчину № 1 введено мінеральний фон серед для вищелачивання заліза [15], розчину № 2 — мінеральний фон серед 9Ж; розчину № 3 — серед Летена. Склад вищелачиваючих розчинів, що відрізняються складом і концентраційним складом, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Склад використовуваних вищелачиваючих розчинів

Мінеральні компоненти	Концентрація мінеральних компонентів у розчинах, мг/дм <sup>3</sup>		
	№ 1	№ 2	№ 3
$\text{NH}_4\text{Cl}$	0,50	–	–
$\text{MgCl}_2$	0,25	–	–
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,25	–	–
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,50	3,00	0,15
$\text{MgSO}_4$	–	0,50	0,50
KCl	–	0,10	–
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	–	0,50	0,10
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	–	0,01	0,01

У якості енергетического субстрату до мінерального фону поживних серед додавали тиосульфат, тиомочевину і двохвалентне залізо в концентрації 2,0 г/дм<sup>3</sup> в перерахунок на іон  $\text{Fe}^{+2}$ . Цей методический підхід сприяє інтенсифікації біогеохімічної активності аборигенної мікробіоти, що мешкає у вивчаємих субстратах.

Бактеріальне вищелачивання виконували в колбах об'ємом 0,5 дм<sup>3</sup> при температурі

30,0±2,0 °С, соотношении твердой и жидкой фаз 1:10, каждые 7 дней осуществляли замену 1/3 объема минеральной среды свежей порцией, значение рН на уровне ~ 1,8–2,0 поддерживали добавлением 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

О биогеохимической деятельности сообщества ацидофильной сероокисляющей микробиоты судили по появлению металлов в выщелачивающем растворе и развитию микробных клеток.

Количественное содержание металлов в исследуемом сырье осуществляли спектральным методом на приборе Спектрограф СТЭ-1.

В выщелачивающих растворах германий, цирконий, цинк, никель и марганец определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборах ААС-1 и С-115ПК Selmi [18]. Параллельно германий находили экстракционно-фотометрическим методом на приборе КФК-2 в виде германо-молибденовой кислоты с предварительным экстракционным отделением примесей четыреххлористым углеродом [19]. Цирконий определяли фотометрическим методом на приборе КФК-2 с использованием пирокатахинового фиолетового и комплекса (III) [20].

В работе использовали реактивы марки «хч» и «чда» ООО НПФ «Симеста ВААЛ» (Украина). Статистическую обработку данных осуществляли стандартными методами с использованием программы Excel, 2003. При определении содержания элементов в твердых и жидких образцах относительное стандартное отклонение для трех повторяемых измерений не превышало 0,03–0,05.

### Результаты и обсуждение

При добавлении используемых выщелачивающих растворов к исследуемому субстрату на протяжении всего срока эксперимента регистрировали развитие бактериальных клеток (рис. 1). Изучение окрашенного микроскопического препарата показало наличие во всех вариантах опыта бактериальных клеток; их количество изменялось от 10<sup>2</sup> до 10<sup>6</sup> КОЕ/мл в начале и конце эксперимента соответственно. Особым разнообразием морфологических признаков развивающаяся бактериальная культура не отличалась. Независимо от состава выщелачивающего раствора в нем доминировали палочковидные тонкие, мелкие, одиночные, образующие небольшие цепочки, иногда в скоплениях, бактериальные клетки (рис. 1).

Из различных выщелачивающих растворов в чистую культуру выделена 21 ацидо-

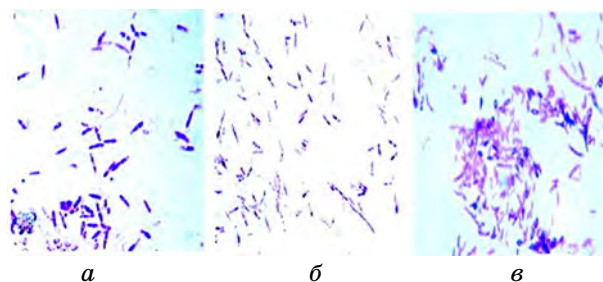


Рис. 1. Микрофотографии окрашенного препарата бактериальных клеток в выщелачивающих растворах: а — № 1; б — № 2; в — № 3. ×100

фильная сероокисляющая бактерия; проводится изучение их основных культурально-морфологических, физиолого-биохимических и практически полезных свойств.

В условиях наших экспериментов при использовании выщелачивающих растворов, отличающихся по компонентному, концентрационному составу и источникам энергии, наблюдали извлечение из твердой фазы в раствор германия, циркония, никеля, цинка, марганца. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что эффективность выщелачивания металлов сообществом ацидофильных сероокисляющих бактерий, обитающих в исследуемой золе, была различной и зависела как от минерального состава, так и от источника энергии.

**Выщелачивание германия.** Сравнительный анализ полученных данных указывает на то, что при использовании выщелачивающего раствора № 2, независимо от источника энергии, показатели извлечения германия из твердой фазы были значительными и колебались от 51,45 до 85,00 % (рис. 2). При этом максимальная степень извлечения германия — 68,4 и 85,00 % — была достигнута при использовании в качестве энергетических субстратов неорганических соединений — тиосульфата и двухвалентного железа.

Аналогичные результаты получены в случае использования выщелачивающего раствора № 3. Однако количественные показатели извлечения германия были в 1,5 и 1,7 раза меньше и составляли 46,29 и 52,15%. При использовании выщелачивающего раствора № 1 максимального извлечения германия — 62,64% — достигали только в присутствии тиосульфата (рис. 2). С добавлением к минеральному фону всех выщелачивающих растворов тиомочевины максимальное извлечение германия регистрировали только при использовании раствора № 2. Показатели извлечения германия при применении растворов № 1 и № 3 были соответственно в 1,3 и 1,2 раза меньше (рис. 2).



Рис. 2. Ефективність вищелачивання германія при використанні досліджуваних вищелачиваючих розчинів

Таким образом, для извлечения германия сообществом сероокисляющих ацидофильных бактерий исследуемых зол наиболее эффективной оказалась рецептура выщелачивающего раствора № 2 с добавлением двухвалентного железа в качестве энергетического субстрата. Это обеспечило переход германия из твердой фазы в раствор на 85,0%. Такой состав выщелачивающего раствора создает благоприятные условия для проявления максимальной активности таких представителей ацидофильных тионовых бактерий, как *Acidithiobacillus ferrooxidans*, которые, безусловно, являются одной из лидирующих групп бактерий в микробном ценозе исследуемых зол. Согласно имеющимся в литературе данным именно эти бактерии широко используют для выщелачивания металлов из природных минералов и концентратов как в исследовательских целях, так и в промышленных объемах [19, 20].

**Выщелачивание циркония.** В условиях наших экспериментов эффективность извлечения циркония сообществом ацидофильных сероокисляющих бактерий из исследуемых зол была незначительной. Состав выщелачивающих растворов № 1 и № 3 и используемые при этом источники энергии не оказывали влияния на бактериальное извлечение циркония из исследуемых зол; показатели перехода циркония из твердой фазы в раствор практически не отличались и не превышали 12,0% (рис. 3). Наиболее эффективной рецептурой выщелачивающего раствора, как и в предыдущей серии экспериментов, оказался состав № 2. Максимальный показатель извлечения циркония — 45,9% — достигнут с добавлением к минеральному фону этого раствора тиомочевины (рис. 3). При использовании в качестве источника

энергии неорганических соединений — тиосульфата и двухвалентного железа эффективность извлечения циркония снижалась в 2,6–4,9 раза. Можно предположить, что такое сочетание минеральных компонентов и тиомочевины в качестве энергетического субстрата способствует проявлению биогеохимической активности другой группы сероокисляющих бактерий, которая в качестве источника энергии предпочитает органические соединения серы или, возможно, нуждается в органических веществах.



Рис. 3. Ефективність вищелачивання цирконія при використанні досліджуваних вищелачиваючих розчинів

**Выщелачивание других металлов.** В процессе бактериального окисления техногенного сырья сообществом сероокисляющих бактерий в выщелачивающий раствор, кроме редких металлов, переходили и макрокомпоненты — никель, цинк, марганец. В условиях нашего эксперимента на извлечение никеля из твердой фазы также оказывали влияние минеральный состав выщелачивающего раствора и используемые энергетические субстраты (рис. 4).

Как следует из представленных на рис. 4 данных, использование в качестве энергетического субстрата тиомочевины, независимо от состава выщелачивающего раствора, обеспечивало максимальное извлечение никеля из сырья (56,96, 57,60 и 75,80% соответственно растворами №№ 1, 2, 3) (рис. 4). Наиболее эффективным сочетанием «состав раствора + источник энергии» для бактериального выщелачивания никеля из исследуемых зол является раствор № 3 с тиомочевинной, обеспечивающий 75,8% извлечения никеля.

Состав выщелачивающих растворов и источники энергии практически не влияли на

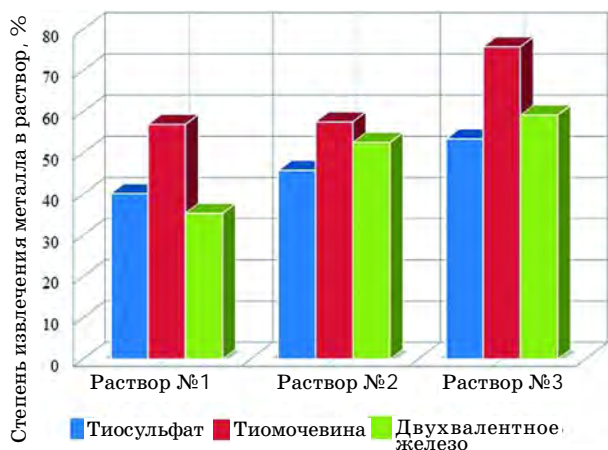


Рис. 4. Эффективность выщелачивания никеля при использовании исследуемых выщелачивающих растворов

количество марганца и цинка, которые переходили из твердой фазы в раствор в процессе бактериального окисления зол (табл. 2). Степень извлечения металлов при этом была незначительной и составляла 9,14–24,16 %.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о различной эффективности применяемых выщелачивающих растворов для активизации деятельности аборигенных микроорганизмов, направленной на извлечение с их помощью металлов в раствор. Большое значение при этом имеет фазовый состав исходного сырья — приуроченность германия, циркония, марганца, никеля и цинка как микрокомпонентов в качестве изоморфных примесей к основным фазам-носителям, за счет разрушения кристаллической структуры которых и происходит выделение металлов в раствор. С другой стороны, эти различия свидетельствуют о более широком спектре микроорганизмов, принимающих участие в выщелачивании металлов. Так, к настоящему времени получены данные об участии в процессах биовыщелачивания представителей нитрифицирующих (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) и железоокисляющих (*Leptospirillum*) бактерий, сульфобацилл (*Sulfobacillus*) [12, 15, 21–23],

поскольку пищевые потребности сероокисляющих и железоокисляющих хемолитоавтотрофных бактерий практически совпадают [23]. По данным отечественных и зарубежных специалистов, извлечению из горных пород и руд золота, меди, урана, титана, кремния, никеля, алюминия, марганца и других металлов способствуют также гетеротрофные микроорганизмы [8, 21–23].

Механизм бактериального выщелачивания металлов — сложный процесс, который до конца не изучен и зависит от многих причин, в том числе от физико-химических свойств, электрохимического потенциала минералов, а также от биологических особенностей бактериальной клетки [24, 25]. Доказано, что на прямом контакте бактерий с поверхностью минерала совершается стимулирование бактериальной клеткой окисления минерала «перекачкой электронов» на клетку. Тем самым создаются условия для жизнеобеспечения клеток бактерий и их участия в формировании «био-коррозии» минеральной частицы. Ведущую роль в этом механизме играет способность микроорганизмов прикрепляться к субстратам. Эти факторы в совокупности обеспечивают разрушение даже таких устойчивых кристаллических структур, как силикаты, кварц, алюмосиликаты и др., присутствующих в исследуемом нами исходном сырье и являющихся носителями германия, изоморфно замещающего в этих фазах кремний [26].

В результате проведенных исследований впервые показана возможность извлечения редких металлов — германия и циркония сообществом ацидофильных сероокисляющих бактерий, обитающих в техногенных отходах энергетической промышленности. Сравнительный анализ полученных экспериментальных данных позволил определить оптимальное сочетание состава выщелачивающего раствора и энергетического субстрата, обеспечивающих максимальный переход германия и циркония из твердой фазы в раствор. Эти результаты могут быть положены в основу многостадийного выщелачивания металлов в автотрофных, миксотрофных и гетеротрофных условиях с использованием

Таблица 2. Степень извлечения металлов при бактериальном выщелачивании различными выщелачивающими растворами (%)

Выщелачивающие растворы	Используемые источники энергии					
	Тиосульфат		Тиомочевина		Fe (II)	
	Zn	Mn	Zn	Mn	Zn	Mn
№1	24,16	9,14	23,16	11,52	18,30	9,74
№2	24,72	8,90	24,72	11,24	21,30	11,24
№3	19,44	9,44	25,72	11,64	24,44	10,64

микроорганизмов, доминирующих в исследуемом минеральном сырье.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение основных культурально-морфологических, физиолого-биохимических, практически полезных свойств и

идентификацию выделенных из выщелачивающих растворов чистых культур бактерий, а также на повышение эффективности извлечения с их помощью металлов из минерального сырья природного и техногенного происхождения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юдович Ю. Я., Кетрис М. П., Меред А. В. Элементы-примеси в ископаемых углях. — Л.: Химия, 1985. — 238 с.
2. Ломашов И. П., Лосев Б. М. Германий в ископаемых углях. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 312 с.
3. Пашков Г. Л. Зола природных углей — нетрадиционный сырьевой источник редких элементов // Сорос. обр. журн. — 2001. — Т. 7, № 11. — С. 67–72.
4. Галич С. А. Перспективы использования золошлаков ТЭС в качестве микроудобрения для почв // Электронная версия материалов 4-й Междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов». — Харьков, 2006.
5. Зубова Л. Г. Терриконники угольных шахт — источники сырья для металлургии // Уголь Украины. — 2000. — № 6. — С. 32–33.
6. Угостов Е. А., Латышев В. Е., Лильбок Л. А. Возможности применения биоготехнологии при выщелачивании бедных и упорных руд // Горн. журн. — 2003. — № 8. — С. 63–65.
7. Brierly J. A. Expanding role microbiology in metallurgical processes // Mining Engin. — 2000. — V. 52, N 11. — P. 49–53.
8. Кузякина Т. И., Хайнасова Т. С., Левенец О. О. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд // Вестн. наук о Земле. — 2008. — Т. 60, Вып. 12. — С. 76–85.
9. Васильева Т. В., Блайда И. А., Иваница В. А. Металлы из промышленных отходов // Энергосбережение. — 2011. — № 5. — С. 31–33.
10. Блайда И. А. Извлечение ценных металлов при переработке промышленных отходов биотехнологическими методами (Обзор) // Энерготехнол. ресурсосбер. — 2010. — № 1. — С. 39–45.
11. Gericke M., Pinches A., van Rooyen J. V. Bioleaching of a chalcopyrite concentrate using an extremely thermophilic culture // Int. J. Min. Proc. — 2001. — V. 62, N 1. — P. 243–255.
12. Каравайко Г. И., Кузнецов С. И., Голомзик Э. И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. — М.: Наука, 1972. — 248 с.
13. Кулебакин В. С. Бактериальное выщелачивание сульфидов. — Н.: Наука, 1978. — 262 с.
14. Блайда И. А., Васильева Т. В., Слюсаренко Л. И. и др. Биогеохимическая роль микроорга-
- низмов в процессе выщелачивания ценных компонентов из германийсодержащего сырья // Компл. испол. мин. сырья. — 2010. — № 3. — С. 59–68.
15. Каравайко Г. И., Дубинина Г. А., Кондратьева Т. Ф. Литотрофные микроорганизмы окислительных циклов серы и железа // Микробиология. — 2006. — Т. 75, № 5. — С. 593–629.
16. Zeng Wei-min, Wu Chang-bin, Zhang Ru-bing et al. Isolation and identification of moderately thermophilic acidophilic iron-oxidizing bacterium and its bioleaching characterization // Trans. Nonfer. Met. Soc. China. — 2009. — V. 19. — P. 222–227.
17. Васильева Т. В., Блайда И. А., Васильева Н. Ю. и др. Изучение ацидофильных сероокисляющих бактерий и оценка их способности выщелачивать металлы // Тезисы 1-й междунар. научно-практической конф. «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии. Проблемы и перспективы», 28 сентября — 2 октября 2009 г., Одесса. — С. 109–110.
18. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. — Л.: Химия, 1983. — 144 с.
19. Назаренко В. А. Аналитическая химия германия. — М.: Наука, 1973. — 264 с.
20. Елинсон О. В. Аналитическая химия циркония. — М.: Наука, 1965. — С. 128–158.
21. Каравайко Г. И. Практическое руководство по биоготехнологии металлов. — М.: АН СССР, 1989. — 371 с.
22. Bosecker K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms // FEMS Microbiol. Rev. — 1997. — V. 20. — P. 591–604.
23. Абдрашитова С. А., Мынбаева Б. Н., Илялетдинов А. Н. Окисление мышьяка гетеротрофными бактериями *Pseudomonas putida* и *Alcaligenes eutrophus* // Микробиология. — 1981. — Т. 50, Вып. 1. — С. 41–45.
24. Cheng-Hsien Hsu, Roger G. Harrison. Bacterial leaching of zinc and copper from mining wastes // Hydrometallurgy. — 1995. — V. 37. — P. 169–179.
25. Sookie S. Bang, Sandeep S. Deshpande, Kenneth N. Han. The oxidation of galena using *Thiobacillus ferrooxidans* // Ibid. — 1995. — V. 37. — P. 181–192.
26. Блайда И. А., Васильева Т. В., Иваница В. О. та ін. Вилучення германію з відходів свинцево-цинкового виробництва тіоновими бактеріями // Мікробіол. і біотехнол. — 2011. — № 2 (14). — С. 73–82.

**ВПЛИВ СКЛАДУ  
ВИЛУГОВУЮЧИХ РОЗЧИНІВ  
НА ПРОЦЕСИ БАКТЕРІАЛЬНОГО  
ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛІВ  
ІЗ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ**

*I. А. Блайда  
Т. В. Васильєва  
Л. І. Слюсаренко  
Б. М. Галкін  
В. О. Іваниця*

Одеський національний університет  
імені І. І. Мечникова

*E-mail: iblayda@ukr.net*

Встановлено високу окиснювальну активність аборигенної мікробіоти, яка домінує в золошлакових відходах спалювання вугілля і представлена мезофільними, помірно термофільними і термофільними ацидофільними залізо-, сіроокиснювальними бактеріями. Вивчено вплив компонентного і концентраційного складу вилуговуючих розчинів на ефективність вилучення угрупуванням ацидофільних хемолітотрофних бактерій германію, цирконію, нікелю, марганцю і цинку із золи. Виявлено залежність вилучення мікрокількостей германію, цирконію та супутніх макрокомпонентів досліджуваної сировини від мінерального складу вилуговуючих розчинів (на основі рецептур живильних середовищ 9К, Летена, для залізоокиснювальних бактерій) і джерел енергії (тіосульфат, тіосечовина, залізо (II)). Встановлено, що насамперед вилучаються і переходять у розчин германій, нікель і цирконій. Визначено найбільш ефективні поєднання «мінеральний склад + джерело енергії», за яких досягається ступінь вилучення металів із золи вугілля (%): Ge — 85,0; Ni — 75,0; Zr — 45,9.

**Ключові слова:** угрупування ацидофільних сіроокиснювальних хемолітотрофних бактерій, вилуговуючі розчини, джерела енергії, золи від спалювання вугілля, германій, цирконій.

**INFLUENCE OF LEACH SOLUTION  
COMPOSITION ON PROCESSES  
OF BACTERIAL EXTRACTION  
OF METALS FROM TECHNOGENIC  
WASTE**

*I. A. Blayda  
T. V. Vasyleva  
L. I. Slysarenko  
B. N. Galkin  
V. O. Ivanytsia*

Mechnikov Odesa National University

*E-mail: iblayda@ukr.net*

The high oxidative activity of aboriginal microbiota which dominates in the ash-and-slag wastes of energy sector and is represented by mesophilic, moderately thermophilic and thermophilic iron-acidophilus sulpho-oxidating bacteria, was defined. Influence of component and concentration compound of leach solutions on efficiency of extraction of germanium, zirconium, nickel, manganese and zinc from coal ash by acidophilic chemolithotrophic bacteria community was studied. The dependence of the extraction of trace amounts of germanium, zirconium and accompanying macrocomponents of investigated raw materials from mineral compound of leach solutions (based on the formulations of culture media 9K, Letena, for iron-oxidizing bacteria) and a power substratum (thiosulfate, thiourea, iron (II)) was established. It was established that germanium, nickel and zirconium were extracted in the solution first of all. The most effective combinations of «mineral components + an energy source» at which metals extraction degree from coal ash reached certain percentages (Ge — 85,0; Ni — 75,0; Zr — 45,9) were defined.

**Key words:** acidophilic chemolithotrophic sulpho-oxidating bacteria community, leach solutions, energy sources, coal ash, germanium, zirconium.