

УДК 579:662.7

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОЦЕНОЗА ОТВАЛОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ НАКОПЛЕНИЯ

И.А. БЛАЙДА¹, Т.В. ВАСИЛЬЕВА¹, В.И. БАРАНОВ²,
Л.И. СЛЮСАРЕНКО¹, С.Н. ШУЛЯКОВА¹

¹Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

²Львовский национальный университет имени И. Франко

*Техногенные отходы углеобогащения на центральной обогатительной фабрике «Червоноградская» независимо от сроков хранения имеют сложный минералогический состав, содержат повышенные концентрации тяжелых металлов, что обуславливает их экологическую опасность. В качестве вторичной переработки такого вида сырья рентабельными, ресурсосберегающими и экологически безопасными являются методы бактериального выщелачивания. Для их эффективного использования необходимо знать состав и окислительную активность собственной микробной ассоциации техногенных отходов. Стандартными физико-химическими методами определены концентрации ценных компонентов в породных отвалах различного срока хранения. Показано влияние собственной микробиоты на извлечение металлов из породных отвалов. Охарактеризованы структура и количественный состав накопительных культур отвалов с разным сроком хранения. Показано, что качественный состав культур не зависит от сроков хранения, а численность представителей биоценоза в несколько раз выше в отвалах длительного накопления. Установлено, что доминирующими в составе микробиоценозов являются ацидофильные хемолитотрофные – мезофильные и умеренно термофильные бактерии родов *Acidithiobacillus* и *Sulfobacillus*. Максимальный выщелачивающий эффект достигнут при использовании в качестве источника энергии двухвалентного*

железа, как в мезофильных, так и умеренно термофильных условиях. Независимо от используемой группы бактерий максимальные результаты по извлечению ценных металлов в раствор получены при выщелачивании отвалов с малым сроком хранения.

***Ключевые слова:** породные отвалы, микробная ассоциация, микробиоценоз, ацидофильные хемолитотрофные бактерии, бактериальное выщелачивание.*

Предыдущие исследования [1–3] показали, что породные отвалы Центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) «Червоноградская» ОАО «Львовская угольная компания» могут рассматриваться как источник получения ценного редкого металла германия современными биотехнологическими методами путем использования активности микроорганизмов аборигенной микробиоты. ЦОФ обогащает уголь шахт Львовско-Волынского угольного бассейна гравитационным и флотационным методами, является самой крупной фабрикой в Европе, за время своей деятельности накопила десятки миллионов тонн отвалов. Основной породный отвал ЦОФ имеет высоту более 60 метров, занимает площадь около 75 га и имеет отсыпки породы, которые отличаются по цвету: красный – с длительным временем хранения, черный – с коротким. Нами было установлено, что в своей общей массе по минералогическому, химическому, дисперсному составу породные отвалы ЦОФ «Червоноградская» являются сложным сырьем, экологически опасным за счет повышенных концентраций токсичных компонентов и тяжелых металлов, а также ценным с точки зрения извлечения редких и цветных металлов. Отвалы имеют перспективу для получения ценного редкометаллического продукта и обезвреживания путем использования для их переработки современного экологически безопасного биотехнологического метода [4, 5].

Предложенная биотехнология переработки породных отвалов ЦОФ предусматривает использование полезных окислительных свойств аборигенной

микробиоты отвалов. Было установлено, что под влиянием определенных техногенных и природных факторов в процессе образования, складирования и хранения в исследуемых техногенных экосистемах формируется особое по своему составу аборигенное сообщество, которое представлено преимущественно гетеротрофными и ацидофильными хемолитотрофными бактериями [5]. В процессе хранения отвалов в них под воздействием внешних факторов происходят изменения, влияющие на структуру и состав микробиоценоза и способность сложившихся равновесных систем к деструкции.

Цель работы – установление изменений в количественном и качественном составе, а также активности микробиоценоза породных отвалов в зависимости от срока их хранения в процессе накопления.

Объекты и методы исследований. Для исследований использовали образцы отвалов углеобогащения ЦОФ «Червоноградская», которые отличались сроком хранения в естественных условиях: красный – с длительным временем хранения; черный – с коротким. Химический состав представлен в табл. 1.

Таблица 1

Содержание металлов в породных отвалах

Элемент	Класс опасности	ПДК для почв, мг/кг	Промышленные концентрации, мг/кг [6,7]	Обнаруженные концентрации, мг/кг	
				Черный	Красный
1	2	3	4	5	6
Медь	2	3,0	45,0-60,0	62,18	78,90
Цинк	1	23,0	65,0-70,0	112,52	130,87
Марганец	3	$1,5 \cdot 10^3$	$850,0 - 10^3$	317,72	812,86
Свинец	1	30,0	18,0-22,0	42,20	57,92
Никель	2	4,0	80,0-120,0	134,20	132,90
Кадмий	1	2,0	45,0-55,0	2,82	3,63
Железо	-	$3,7 \cdot 10^3$	$(1,5-2,0) \cdot 10^3$	$44,57 \cdot 10^3$	$128,3 \cdot 10^3$
Олово	2	4,5	90,0-120,0	351,9	587,5
Хром	2	6,0	190,0-210,0	99,1	76,21
Ванадий	3	150,0	140,0 -160,0	150,0	162,1
Кобальт	2	12,0	37,0-42,0	116,1	188,8
Алюминий	-	д/н*	$(2,5-5,0) \cdot 10^3$	$13,9 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^3$

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Сера	-	160,0	-	$11,7 \cdot 10^3$	$56,5 \cdot 10^3$
Кремний	-	д/н	-	$158,6 \cdot 10^3$	$104,2 \cdot 10^3$
Галлий	-	д/н	10,0-15,0	12,1	14,5
Германий	-	д/н	5,0-7,0	26,0	30,0
Цирконий	-	д/н	160,0-220,0	173,0	178,0
Ниобий	-	д/н	19,0-22,0	14,0	15,0
Лантан	-	д/н	25,0-29,0	48,0	50,2
Церий	-	д/н	25,0	69,0	71,0
Рубидий	-	д/н	90,0	141,0	165,9
Стронций	3	д/н	80,0	211,0	234,7
Барий	3	д/н	250,0-400,0	519,0	587,5
Бериллий	1	2,0	3,8-50,0	50,55	62,18
Титан	-	д/н	$4,0 \cdot 10^3$	$4,19 \cdot 10^3$	$5,03 \cdot 10^3$
Кальций	-	д/н	-	$17,2 \cdot 10^3$	$35,9 \cdot 10^3$
Калий	-	д/н	-	$134,1 \cdot 10^3$	$94,1 \cdot 10^3$

д/н* - данных нет

Химический анализ растворов на содержание металлов осуществляли с применением метода спектроскопии атомной абсорбции на приборах ААС-1 и С-115ПК Selmi [8]. Исследования проводились с природным (с аборигенной микробиотой) и автоклавированным (без аборигенной микробиоты) субстратом, при соотношении твердой (субстрат) и жидкой (раствор) фазы Т:Ж=1: 10, температуре $t = 24,0 \pm 0,5$ °С.

Для определения влияния собственной микробиоты субстратов на процесс выщелачивания металлов использовали в качестве выщелачивающих реагентов воду (рН 5,6) и сернокислый раствор (рН 1,4); исследование проводили при температуре $24,0 \pm 0,5$ и $80,0 \pm 0,5$ °С, соотношении Т:Ж=1:4, времени выщелачивания (τ) 4 часа. Контролем служило предварительно автоклавированное минеральное сырье и реактивы.

Для выявления различных физиологических групп микроорганизмов аборигенной микробиоты использовали метод накопительных культур; инкубирование проб проводили на соответствующих стандартных питательных средах. Для представителей хемолитотрофных ацидофильных бактерий использовали среды 9К и 9К*, нейтрофильных хемолитотрофных – среду Бейеринка, для представителей рода *Leptospirillum* – среду 882, для умеренно термофильных представителей рода *Acidithiobacillus*, в частности

Acidithiobacillus caldus – среду 150а, для гетеротрофных – среду Горбенко, для мицелиальных грибов – среду Чапека, для «силикатных» – среду А-27 [9–11]. Накопление биомассы различных представителей микробиоценоза отвалов проводили при Т:Ж=1:10. В контрольных опытах субстрат перед внесением в питательную среду стерилизовали. Посевы инкубировали при температуре $30,0 \pm 0,5$ °С или $45,0 \pm 0,5$ °С при $pH \leq 3,0 - 7,0$ в течение 5 суток. О развитии микроорганизмов судили по изменению внешнего вида накопительной культуры и значений pH культуральной жидкости. Численность представителей сообщества разных групп бактерий определяли путем высева десятикратных последовательных разведений соответствующих бактериальных суспензий на плотные среды того же состава. Количество спорообразующих бактерий определяли после термообработки при $80,0 \pm 0,5$ °С в течение 15 мин [9, 10].

Достоверность полученных результатов оценивали по критерию Стьюдента. При определении содержания элементов в образцах относительное стандартное отклонение для трех повторяемых измерений не превышало 0,03–0,05.

Результаты и их обсуждение. Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что основными пороодообразующими элементами в обоих субстратах является кремний, алюминий, железо и сера, которые формируют достаточно устойчивые алюмосиликатные, сульфидные и оксидные структуры. Однако в красных отвалах при длительном хранении за счет выветривания происходит концентрирование по некоторым пороодообразующим элементам и элементам-примесям. При термообработке ($t=200 \pm 10$ °С в течение 3 часов в потоке воздуха) красный образец теряет до 10 % массы, черный – до 1 %. Это происходит в основном за счет удаления влаги, которой в красном образце гораздо больше за счет продолжительности хранения. Поэтому можно предположить, что под влиянием влажного воздуха при длительном хранении в красном образце отвалов происходит помимо насыщения несвязанной водой, окисление металлов техногенного сырья (Fe^{2+} , Mn^{2+} и др.) до высших степеней

с образованием более устойчивых (по сравнению с черным) равновесных структур.

В табл. 2 и 3 приведены результаты расчетов коэффициента влияния собственной микробиоты на извлечения металлов в раствор (К) для черного и красного субстратов.

Таблица 2

**Влияние собственной микробиоты черного образца отвала
на процесс выщелачивания**

Условия био- выщелачивания	рН раствора после выще- лачивания		Коэффициент влияния микроорганизмов на извлечение металлов, К $K = E_{н/а}/E_{а}^*$				
	рН _{н/а}	рН _а	Ge	Ga	Fe	Pb	Zn
H ₂ O (рН 5,6) t = 24±0,5 °С	3,8	3,2	1,37 6,15/4,49	1,42 5,96/4,20	1,39 6,75/4,86	1,32 5,78/4,38	1,41 5,25/3,72
H ₂ O (рН 5,6) t = 80±0,5 °С	3,6	3,1	1,39 12,95/9,32	1,43 10,14/7,09	1,37 13,15/9,60	1,29 11,60/8,99	1,39 8,34/6,00
H ₂ SO ₄ (рН 1,4) t = 80±0,5 °С	7,0	2,9	2,04 18,17/8,91	1,93 17,96/9,30	2,13 21,46/10,08	1,54 18,14/11,78	2,01 17,46/8,69

$E_{н/а}$ (рН_{н/а}) и $E_{а}$ (рН_а) – соответственно степень извлечения металла (рН раствора) исходного продукта неавтоклавированного (н/а) и после автоклавирования (а), %

Таблица 3

**Влияние собственной микробиоты красного образца отвала
на процесс выщелачивания**

Условия био- выщелачивания	рН раствора после выще- лачивания		Коэффициент влияния микроорганизмов на извлечение металлов, К $K = E_{н/а}/E_{а}^*$				
	рН _{н/а}	рН _а	Ge	Ga	Fe	Pb	Zn
H ₂ O (рН 5,6) t = 24±0,5 °С	4,0	3,3	1,47 5,45/3,71	1,52 5,07/3,34	1,49 6,05/4,06	1,50 4,98/3,32	1,49 5,15/3,46
H ₂ O (рН 5,6) t = 80±0,5 °С	3,7	3,0	1,40 11,05/7,89	1,47 9,44/6,42	1,39 13,05/9,39	1,41 11,20/7,94	1,47 8,05/5,48
H ₂ SO ₄ (рН 1,4) t = 80±0,5 °С	6,6	3,1	2,10 17,97/8,56	1,97 16,96/8,61	2,22 19,76/8,90	1,57 17,94/11,43	2,04 17,00/8,33

Независимо от условий проведения процесса выщелачивания существует значительное влияние микроорганизмов аборигенной микробиоты на эффективность процесса в целом. Увеличение коэффициента влияния на показатели процессов при подкислении выщелачивающего раствора свидетельствует в пользу присутствия и активизации представителей

собственных ацидофильных микроорганизмов. При увеличении температуры процесса также возрастает значение K , что, согласно данным литературы, связано с деятельностью термофильных микроорганизмов [12, 13]. Изменение рН растворов после проведения экспериментов также является доказательством проявления активности собственной микробиоты сырья. При выщелачивании металлов из исследуемого субстрата водой смещение рН наблюдается в более кислую область по сравнению с исходной средой. Уменьшение показателя рН при высокой температуре более выражено. Это связано с присутствием в сырье слабо кислых оксидов и других соединений железа, цинка, свинца и германия, которые при растворении в воде создают в результате гидролиза слабые места и ортокислоты типа H_2GeO_3 , причем равновесие $\text{GeO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HGeO}_3^- + \text{H}^+$ при нагревании смещается в сторону образования этих кислот [7]. Однако в нестерильных продуктах в присутствии собственной микробиоты это смещение менее выражено. В условиях, активизирующих деятельность ацидофильных термофильных тионовых бактерий (рН 1,4 при $t=80 \pm 0,5$ °C), регистрировали резкое смещение значений рН в нейтральную область (табл. 2, 3). Таким образом, при всех условиях исследований влияние собственной микробиоты на извлечения металлов в раствор для черного и красного субстратов очевидно, и для красного образца это преимущество более выражено (K достигает $1,57 \div 2,22$).

Следующим этапом было изучение количественного и качественного состава и различий специфического микробиоценоза образцов отвалов, который формируется в зависимости от продолжительности их хранения. Гетерогенные условия техногенных отходов с перепадами температур, кислотности, концентраций тяжелых металлов создают условия для широкого разнообразия природной микробиоты, состав и окислительная активность которой определяют скорость и глубину бактериального выщелачивания металлов. С другой стороны, разнообразие и соотношение различных групп микроорганизмов в техногенных экосистемах остается одним из неизученных вопросов.

Анализ данных свидетельствует о наличии в отвалах широкого спектра микроорганизмов – представителей различных физиологических групп, независимо от срока накопления (табл. 4). Несмотря на то, что породные отвалы относят к биокосным системам, в накопительных культурах отмечено интенсивное развитие гетеротрофных бактерий, как споро-, так и неспорообразующих. Обобщение результатов указывает на незначительное отличие в численности этой группы бактерий в породных отвалах различного срока хранения. Присутствие гетеротрофных бактерий в составе микробиоценоза породных отвалов соответствует имеющимся литературным данным о способности представителей родов *Pseudomonas* и *Bacillus* выщелачивать металлы [14]. В условиях наших экспериментов извлечение металлов из разных образцов породных отвалов этой группой бактерий была незначительной (рис. 1).

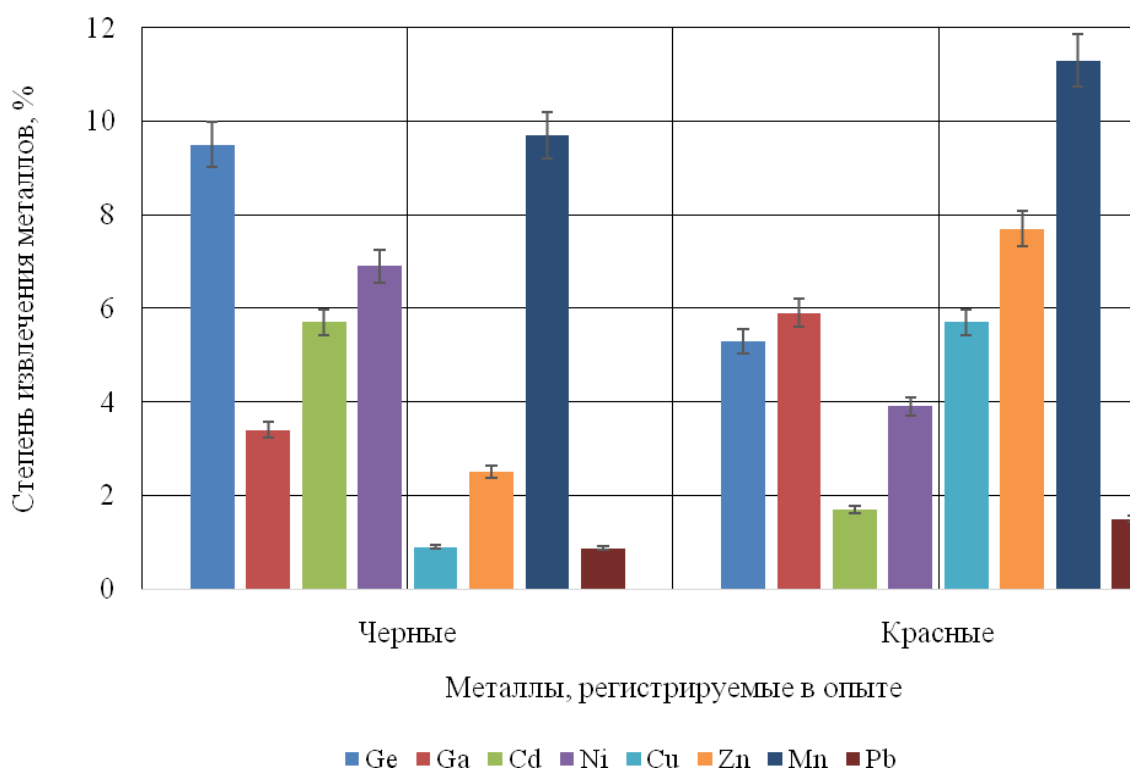


Рис. 1. Извлечение металлов из красных и черных породных отвалов ассоциацией гетеротрофных бактерий

Среди спорообразующих бактерий выделены так называемые «силикатные» бактерии, численность которых в 3,5 раза выше в красных отвалах (табл. 4).

Таблица 4

Количество бактерий (КОЕ/мл) в питательных средах при культивировании на отвалах ЦОФ (через 5 дней)

Субстрат	Гетеротрофные микроорганизмы			Мицелиальные грибы	Хемолитотрофные бактерии								
					Ацидофильные							Нейтрофильные	
				Мезофильные				Умеренно термофильные					
	Среда												
	Горбенко		А-27	Чапека	9К		882	9К*		150a	Бейеринка		
Спорообразующие	Неспорообразующие	Спорообразующие	Na ₂ S ₂ O ₃		S ⁰	Fe ⁺²	Fe ⁺²	Fe ⁺²	Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ S ₂ O ₃		
Черный	2,5±0,3 x10 ⁶	4,2±0,3 x10 ⁶	9,3±0,3 x10 ³	1,2±0,1 x10 ²	5,3±0,3 x10 ⁴	1,6±0,3 x10 ³	6,4±0,6 x10 ⁵	1,7±0,3 x10 ³	8,9±0,6 x10 ⁷	7,4±0,4 x10 ⁸	1,6±0,3 x10 ⁴	1,4±0,3 x10 ²	
Красный	3,9±0,3 x10 ⁶	1,2±0,3 x10 ⁷	3,2±0,3 x10 ⁴	4,2±0,3 x10 ³	3,3±0,5 x10 ⁶	2,8±0,2 x10 ⁶	8,4±0,6 x10 ⁷	3,5±0,3 x10 ⁵	1,2±0,6 x10 ⁹	9,4±0,5 x10 ⁹	3,8±0,3 x10 ⁴	2,0±0,24 x10 ⁴	

Полученные данные коррелируют с результатами химического анализа, согласно которым алюминий и кремний являются основными породообразующими элементами отвалов (табл. 1). Анализ результатов выщелачивания металлов свидетельствует о том, что «силикатные бактерии» не вносят значительного вклада в извлечение металлов из различных отходов.

Сравнительный анализ полученных результатов свидетельствует о доминировании в исследуемых породных отвалах ацидофильных хемолитотрофных бактерий. Среди них как в черных, так и красных отвалах большинство – 90,7 и 92,5 % составляли бактерии, которые окисляли широкий спектр источников энергии – железо, серу и ее восстановленные соединения – (S^0 , SO_3^{2-} , $Na_2S_2O_3$ и др.). И только 8,5 и 7,3 % составляла группа бактерий, которые не способны были окислять соединения железа. Это позволяет предположить наличие в микробных ценозах представителей не только «универсальных» бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans*, но и *Acidithiobacillus thiooxidans*, которые, согласно литературным данным, встречаются в природных сульфидных рудах и промышленных концентратах значительно реже [15]. Группа мезофильных ацидофильных хемолитотрофных бактерий обладала высокой выщелачивающей активностью. Максимальные результаты в этой серии опытов по коллективному выщелачиванию металлов в раствор, как редких, так и тяжелых, были достигнуты при использовании в качестве энергетического субстрата двухвалентного железа, что в мезофильных условиях подтверждает ведущую роль *A. ferrooxidans* в процессах бактериального выщелачивания металлов. Сравнительный анализ полученных результатов свидетельствует о более высоком эффекте выщелачивания металлов из черных субстратов (рис. 2).

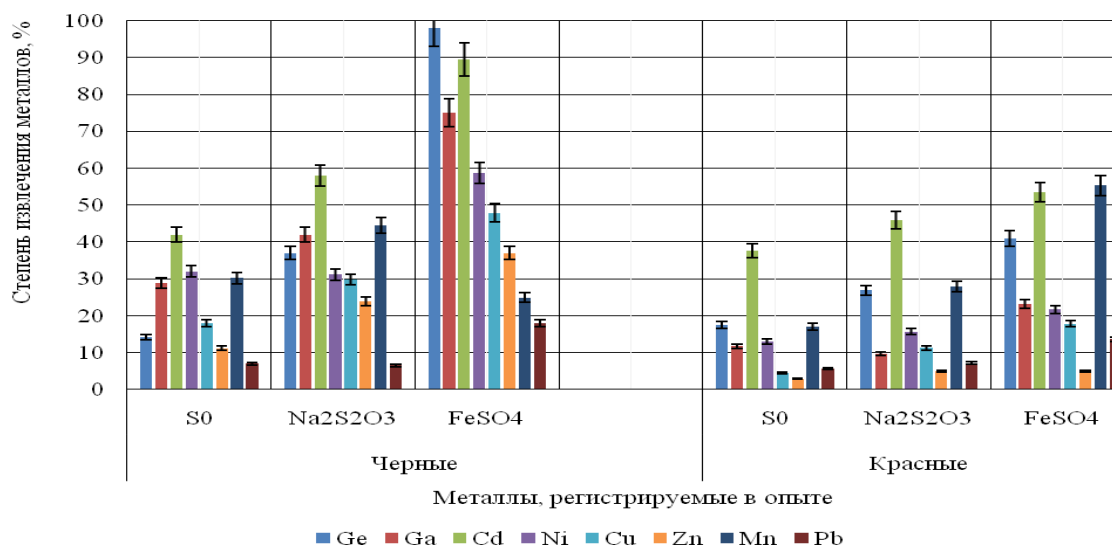


Рис. 2. Извлечение металлов из красных и черных породных отвалов ассоциацией мезофильных ацидофильных хемолитотрофных бактерий

Среди мезофильных бактерий установлено присутствие в породных отвалах разного срока накопления и хранения железоокисляющих бактерий, принадлежащих к представителям *Leptospirillum*. Согласно многочисленным литературным данным представители этого рода всегда присутствуют в минеральном сырье природного происхождения и в ассоциации с *Acidithiobacillus ferrooxidans* и *Acidithiobacillus thiooxidans* повышает эффективность выщелачивания металлов [16].

Физико-химические условия породных отвалов как красных, так и черных допускают присутствие в составе ассоциации не только ацидофильных, но и нейтрофильных тионовых бактерий. Их численность, в отличие от других групп бактерий, была незначительной и практически не отличалась для красных и черных отвалов. Полученные результаты позволяют предположить наличие в составе микробиоценозов породных отвалов представителей рода *Thiobacillus*. Необходимо отметить, что эффективность выщелачивания металлов этой группой бактерий была минимальной.

В составе микробной ассоциации породных отвалов присутствуют умеренно термофильные представители рода *Sulfobacillus*, окисляющие как

железо, так и тиосульфат. Их количество, как и других групп бактерий, было на 1–2 порядка выше в красных отвалах.

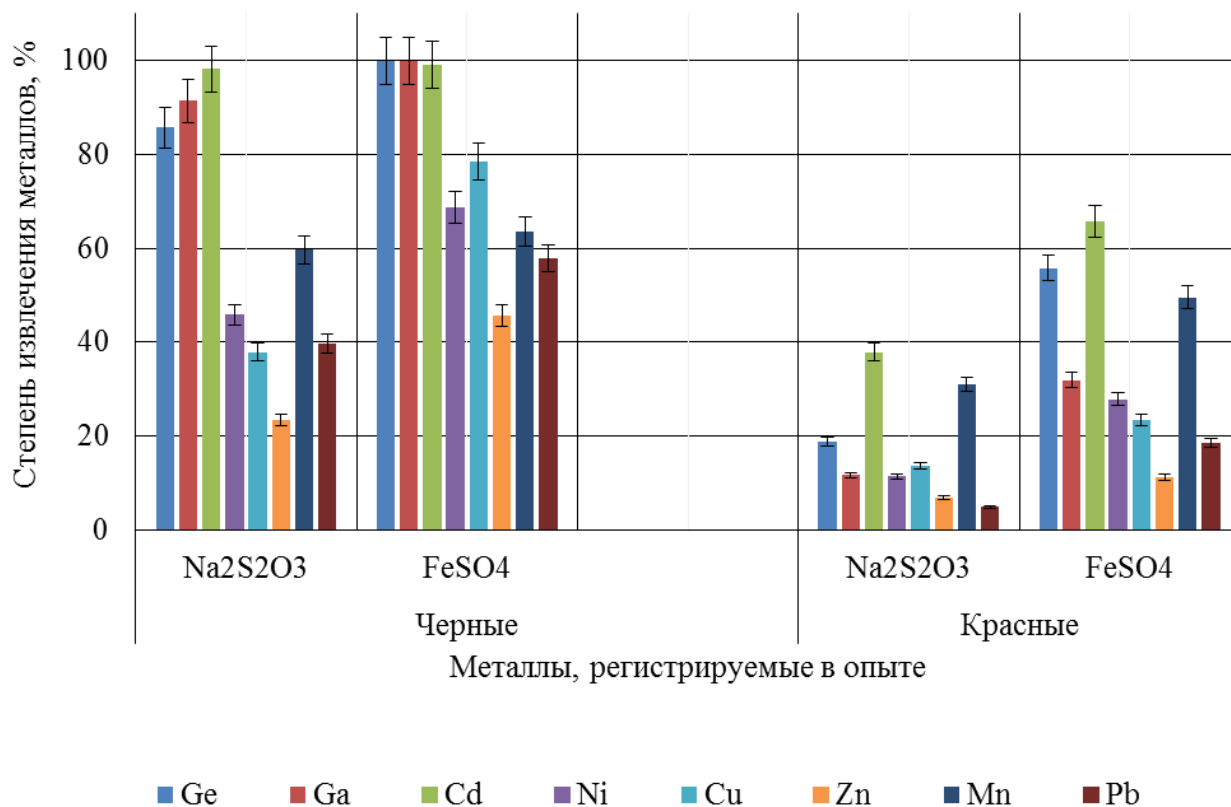


Рис. 3. Извлечение металлов из красных и черных породных отвалов ассоциацией умеренно термофильных бактерий

Группа умеренно термофильных бактерий обладала высокой выщелачивающей активностью, превосходя по эффективности мезофильное сообщество (рис. 3). Как и в предыдущих вариантах опытов переход металлов в раствор был лучше из черных отвалов. Из породных отвалов различного срока хранения на специфической среде 150а выделен еще один представитель умеренно термофильных бактерий – *Acidithiobacillus caldus*. Их численность, как и выщелачивающая активность, были незначительными и практически не зависели от образцов техногенных отходов. Полученные результаты согласуются с имеющимися литературными данными [17].

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены различия в содержании металлов в красных и черных отвалах. Было показано влияние собственной микробиоты на выщелачивание металлов из породных

отвалов различного срока хранения. Причем для красных отвалов это влияние было более выражено, что обусловлено большей численностью бактерий основных физиологических групп. При определении структуры и численности накопительных культур, полученных из различных отвалов выявлены отличия только в численности отдельных групп бактерий. Это связано с тем, что состав микробиоценозов формируется в процессе добычи и обогащении углей и не зависит от сроков хранения. В то время как численность отдельных групп бактерий обусловлена влиянием внешних факторов при хранении углей. Установлено, что в породных отвалах, независимо от сроков хранения, доминируют хемолитотрофные ацидофильные бактерии, как мезофильные, так и умеренно термофильные. Показано, что в мезофильных условиях степень извлечения металлов выше при использовании в качестве источника энергии двухвалентного железа. Максимальные результаты по получению полиметаллического раствора были достигнуты при выщелачивании породных отвалов умеренно термофильной ассоциацией. Сравнительный анализ полученных результатов свидетельствует о более высокой выщелачивающей активности собственной ассоциации свежих черных породных отвалов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке эффективных технологий бактериального выщелачивания металлов из минерального сырья техногенного происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Blayda I., Vasyleva T., Slyusarenko L., Abisheva Z., Ivanytsia V. The germanium extraction from industrial wastes by microbiological methods//XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC 2012), New Delhi, India, September 24–28, 2012. – P. 550–558.

2. Блайда И.А. Использование биогидрометаллургических технологий в решении проблем утилизации техногенных отходов с получением ценных металлов / Блайда И.А., Васильева Т.В., Баранов В.И. // Комплексное использование минерального сырья. – 2015. – №3. – С. 75–82.

3. Пат. 102926 UA. Спосіб вилучення рідкісних металів з відходів вугільної промисловості. // Блайда І.А. Васильєва Т.В., Слюсаренко Л.І., Хитрич В.Ф., Барба І.М., Іваниця В.О., Баранов В.І. Бюл. № 16. Заявл. 20.03.2012. Опубл. 27.08.2013.

4. Возможности бактериального и химического выщелачивания отходов углеобогащения с целью извлечения германия и галлия / И.А. Блайда, Т.В. Васильева, В.И. Баранов [и др.] // Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2013. – №1(4). – С.54–60.

5. Блайда И.А. Состав и активность бактериального сообщества отходов углеобогащения // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – Vol. 7 (5). – P. 94–100. doi:10.15407/biotech7.05.094.

6. Усова Т.Ю. Конъюнктура мирового рынка редких металлов / Т.П. Линдер. Рідкісні метали України – погляд у майбутнє. Київ. 2001, С.102 – 103.

7. Химия и технология редких и рассеянных элементов. – Т. 3./ Под ред. К.А. Большакова. – М.: Высшая школа, 1976. – 368 с.

8. Хавезов И. Атомно-абсорбционный анализ / И. Хавезов, Д. Цалев. – Л.: Химия, 1983. – 144 с.

9. Каравайко Г.И. Практическое руководство по биогетехнологии металлов / Г.И. Каравайко. – М.: АНСССР, 1989. – 371 с.

10. Методы общей бактериологии. – Т. 2. – М.: Мир, 1984. – 265 с.

11. Современная микробиология. Прокариоты. / Современная микробиология. Т.2; [Ленгелер Й., Дреус Г. И., Шлегель Г.]. – М.: Мир, 2005. – 496 с.

12. *Sulfobacillus thermotolerans* sp. nov., a thermotolerant, chemolithotrophic bacterium / [Bogdanova T.I., Tsaplina I.A., Kondrat'eva T.F. et al.] // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2006. – V. 56. – P. 1039–1042.

13. Isolation and identification of moderately thermophilic acidophilic iron-oxidizing bacterium and its bioleaching characterization / [Zeng Wei-min, Wu

Chang-bin, Zhang Ru-bing et al.] // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2009. – V. 19. – P. 222–227.

14. Минеев Г.Г. Биометаллургия золота / Г.Г. Минеев. – М.: Metallurgy, 1989. – 160 с.

15. Кузякина Т.И. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд / Кузякина Т.И., Хайнасова Т.С., Левенец О.О. // Вестник наук о Земле. – 2008. – Т. 60, Вып. 12. – С. 76–85.

16. Варданян Н.С. *Leptospirillum*-подобные бактерии и оценка их роли в окислении пирита / Н.С. Варданян, В.П. Акопян // Микробиология. – 2003. – Т. 72, № 4. – С. 493–498.

17. The role of *Acidithiobacillus caldus* in the bioleaching of metal sulfides / [Semenza M., Viera M., Curutchet G., Donati E.] // Latin American applied research version. – 2002. – V.32, №.4. – P.135–139.

ЗМІНИ МІКРОБІОЦЕНОЗУ ВІДВАЛІВ ВУГЛЕЗБАГАЧЕННЯ У ПРОЦЕСІ ЇХ НАКОПИЧЕННЯ

**І.А. БЛАЙДА¹, Т.В. ВАСИЛЬЄВА¹, В.І. БАРАНОВ²,
Л.І. СЛЮСАРЕНКО¹, С.М. ШУЛЯКОВА¹**

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

²Львівський національний університет імені І. Франка

Техногенні відходи вуглезбагачення на центральній збагачувальній фабриці «Червоноградская» незалежно від термінів зберігання мають складний мінералогічний склад, містять підвищені концентрації важких металів, що обумовлює їх екологічну небезпеку. У якості вторинної переробки такого вигляду сировини рентабельними, ресурсозберігаючими і екологічно безпечними є методи бактерійного вилуговування. Для їх ефективного використання необхідно знати склад і окислювальну активність власної мікробної асоціації техногенних відходів. Стандартними фізико-хімічними методами визначені

концентрації коштовних компонентів в порідних відвалах різного терміну зберігання. Показаний вплив власної мікробіоти на витягання металів з порідних відвалів. Охарактеризовані структура і кількісний склад накопичувальних культур відвалів з різним терміном зберігання. Показано, що якісний склад культур не залежить від термінів зберігання, а чисельність представників біоценозу в кілька разів вище у відвалах тривалого накопичення. Встановлено, що домінуючими у складі мікробіоценозів є ацидофільні хемолітотрофніс – мезофільні і помірно термофільні бактерії родів *Acidithiobacillus* і *Sulfobacillus*. Максимальний вилуговуючий ефект досягнутий при використанні як джерело енергії двовалентного заліза, як в мезофільних, так і помірно термофільних умовах. Незалежно від групи бактерій, що використовували, максимальні результати по витяганню коштовних металів в розчин отримані при вилуговуванні відвалів з малим терміном зберігання.

Ключові слова: порідні відвали, мікробна асоціація, мікробіоценоз, ацидофільні хемолітотрофніс бактерії, бактерійне вилуговування

CHANGES OF DUMPS COAL WASHING MICROBIOCENOSIS IN THE PROCESS OF ACCUMULATION

I.A. BLAYDA¹, T.V. VASYLEVA¹, V.I. BARANOV², L.I. SLYUSARENKO¹,
S.N. SHULYAKOVA¹

¹I.I. Mechnikov Odessa National University,

²Ivan Franko National University of Lviv

Technogenic waste of coal beneficiation on the central concentrator "Chervonogradska" regardless of storage time have a complicated mineralogical composition and contain high concentrations of heavy metals, which makes them an ecological hazardous. The bacterial leaching methods of this kind of raw material for its recycling are cost-effective, resource-saving and environmentally friendly. To use them effectively is necessary know the composition and oxidative activity of own

microbial associations of technogenic waste. The concentration of the valued components in the waste dumps of different shelf life were determined by standard physico-chemical methods. The influence of its own microbiota on extracting metals from waste dumps has been shown. The structure and quantitative composition of the enrichment cultures of microorganisms that has been isolated from dumps with different shelf life have been described. It has been shown that the qualitative composition not independent of storage time but the number of microorganisms is several times higher in dumps of long storage. It was found that the dominant part of microbiocenoses are acidophilus chemolithotrophic bacteria – mesophilic and moderately thermophilic bacteria of the genera Acidithiobacillus and Sulfobacillus. The maximum leaching effect was achieved by using as an energy source of divalent iron as in mesophilic and in moderately thermophilic conditions. The maximum extraction of valuable metals in the solution were obtained after processing a technogenic waste with a small storage term regardless from used group of microorganisms.

Key words: *technogenic waste dumps, microbial association, microbiocenosis, chemolithotrophic acidophilus bacteria, bacterial leaching*