

**РАЗНООБРАЗИЕ СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ В
ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ**

Т.В. ВАСИЛЬЕВА

Биотехнологический научно-учебный центр

Одесского национального университета имени И.И. Мечникова

*В процессе добычи, обогащения и сжигания угля образуются отходы, при длительном хранении которых формируются техногенные экосистемы, представляющие как угрозу окружающей среде, так и значительный интерес с точки зрения переработки и извлечения ценных редких металлов. Методы бактериального выщелачивания применительно к данному виду сырья наиболее оправданы и рентабельны, поскольку являются ресурсосберегающими и экологически безопасными. Для успешного их использования необходимо изучить разнообразие сообществ микроорганизмов, сформировавшихся в исследуемых техногенных экосистемах, с точки зрения структуры и вклада их различных групп в выщелачивание металлов. Стандартными микробиологическими методами получены и количественно оценены накопительные культуры микроорганизмов различных физиологических групп – мицелиальных грибов, гетеротрофных микроорганизмов, мезофильных и умеренно термофильных ацидофильных хемолитотрофных сероокисляющих бактерий, установлена их окислительная активность. Наилучшие результаты 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. Это свидетельствует о том, что качественный*

состав ацидофильных хемолитотрофных бактерий, обитающих в техногенных отходах топливно-энергетического комплекса, практически не отличается от структуры микробиоценозов природных сульфидных руд.

Ключевые слова: *техногенные отходы, породные отвалы углеобогащения, зола-унос, аборигенное сообщество, консорциум, гетеротрофные микроорганизмы, ацидофильные хемолитотрофные бактерии, активность, биовыщелачивание, германий, ионы тяжелых металлов.*

На сегодняшний день в Украине накоплено более 25 млрд. тонн промышленных отходов, в том числе и отходов добычи и сжигания угля. В силу своего состава они представляют большую угрозу окружающей среде, занимая плодородные и рекреационные земли. Однако такие ценные компоненты как галлий, германий, цирконий и др., входящие в минеральную (зольную) составляющую угля, в процессе добычи, обогащения и сжигания, перераспределяются по отвальным продуктам, концентрируясь в золе (уноса и шлака). Поэтому техногенные отходы топливно-энергетического комплекса Украины следует рассматривать как продукт, который необходимо перерабатывать с целью снижения нагрузки на окружающую среду, а также для извлечения ценных компонентов [1–3]. С этой точки зрения современные методы бактериального выщелачивания применительно к данному виду сырья наиболее оправданы и рентабельны, поскольку являются ресурсосберегающими и экологически безопасными [4–6]. Микробиологические процессы, происходящие в техногенных отходах, могут быть сходны с процессами, происходящими в минеральном сырье геогенного происхождения. Однако в литературе отсутствуют данные о составе консорциумов микроорганизмов, населяющих техногенное сырье различного происхождения, и их физиолого-биохимических особенностях.

В связи с этим целью работы было изучение видового разнообразия сообществ микроорганизмов, сформировавшихся в техногенных экосистемах топливно-энергетического комплекса, с точки зрения структуры и вклада их

различных групп в выщелачивание металлов. Эти исследования являются продолжением начатых нами ранее работ по оценке количественного и качественного состава микробиоценозов отходов энергетики [7].

Объекты и методы исследований. Объектом исследования являлись породные отвалы, образующиеся в результате обогащения угля шахт Львовско-Волынского угольного бассейна гравитационными и флотационными методами на Центральной обогатительной фабрике (ЦОФ) «Червоноградская» ОАО «Львовская угольная компания» и зола-унос от сжигания смеси отечественных ископаемых углей на ДТЭК Ладыжинская ТЭС. Химический состав продуктов по основным компонентам представлен в табл. 1.

Таблица 1

Содержание металлов в породных отвалах и золе-уносе

Элемент	Промышленные концентрации, мг/кг	Обнаруженные концентрации, мг/кг	
		Породный отвал	Зола-унос
1	2	3	4
Медь	45,0–60,0	62,18	68,18
Цинк	65,0–70,0	112,52	327,33
Марганец	850,0–10 ³	317,72	572,60
Свинец	18,0–22,0	42,20	108,74
Никель	80,0–120,0	134,20	177,00
Кадмий	45,0–55,0	2,82	5,31
Железо	(1,5–2,0)·10 ³	44,57·10 ³	59,31·10 ³
Галлий	10,0–15,0	12,10	10,00
Германий	5,0–7,0	26,00	28,00
Олово	90,0–120,0	351,90	206,90
Хром	190,0–210,0	99,10	218,10
Ванадий	140,0–160,0	150,00	214,50
Кобальт	37,0–42,0	116,10	304,90
Алюминий	(2,5–5,0)·10 ³	13,9·10 ³	38,9·10 ³
Кремний	–	159,0·10 ³	121,0·10 ³
Цирконий	160,0–220,0	173,00	237,00
Ниобий	19,0–22,0	14,00	19,00
Лантан	25,0–29,0	48,00	42,00
Церий	25,0	69,00	74,00
Рубидий	90,0	141,00	116,00

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Стронций	80,0	211,00	656,00
Барий	250,0–400,0	519,00	634,00
Титан	$4,0 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$41,6 \cdot 10^3$
Кальций	–	$17,2 \cdot 10^3$	$1,98 \cdot 10^3$

Исходный породный отвал представляет собой достаточно выкристаллизованную твердую слоистую глинистую породу аргиллита алевролитистого (с преобладанием в ней монтмориллонита), каолинита, кварцевого минерала типа песчаника, пирита, с содержанием угля (до 17,0 %), серы (до 1,5 %) и органической массы (до 2,0 %). Гранулометрический состав продукта разнообразен и представляет собой подавляющее большинство достаточно крупных частиц с размером 5 мм (34,3 %) и 7 мм (18,6 %), также присутствуют более мелкие частицы с размером 1 мм (8,2 %), 2 мм (11,7 %), 3 мм (15,6 %). Зола-унос представляет собой аморфный пылевидный мелкодисперсный продукт с однородными частицами серого цвета (размером $\leq 1,00 \pm 0,05$ мм), содержащим выкристаллизованные вкрапления основных фаз сырья - кварца $\alpha\text{-SiO}_2$, оксидов железа Fe_2O_3 , алюминия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, кальция, магния, калия, натрия, значителен вклад карбонатов и силикатов. Количество в золе невыгоревшего углерода достигает 10,0 %; серы – 1,0 %. Содержание многих редких и цветных металлов в исследуемых субстратах (германий, галлий, свинец, цинк, молибден, вольфрам, цирконий и др.) значительно превышает их промышленно значимые концентрации (табл. 1), что обосновывает необходимость их извлечения [2].

Для обнаружения и изучения сообществ микроорганизмов, населяющих исследуемое сырье, необходимо было создать условия для их жизнедеятельности. Для этого использовали метод накопительных культур на стандартных питательных средах [8–11], состав которых приведен в табл. 2.

Накопление биомассы различных представителей микробиоценоза исследуемых субстратов и определение их выщелачивающей активности проводили при поддержании соотношения твердой и жидкой фаз 1:10. Для

этого в колбы вносили по 2,0 г исследуемого субстрата и добавляли по 20,0 мл соответствующей питательной среды, предпочтительной для определенной группы микроорганизмов. В контрольных опытах субстрат перед внесением в питательную среду стерилизовали. Посевы инкубировали при температуре $30,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ или $45,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ при $\text{pH} \leq 2,0$ в течение 5 суток.

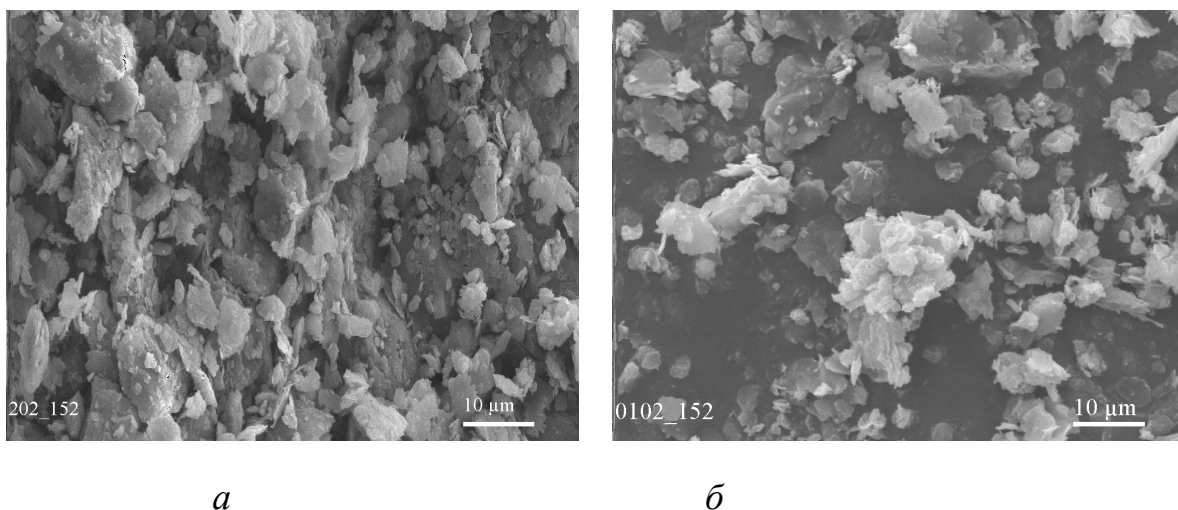


Рис. 1. Микрофотографии породных отвалов: *a* – исходный субстрат; *б* - субстрат после микробиологической обработки

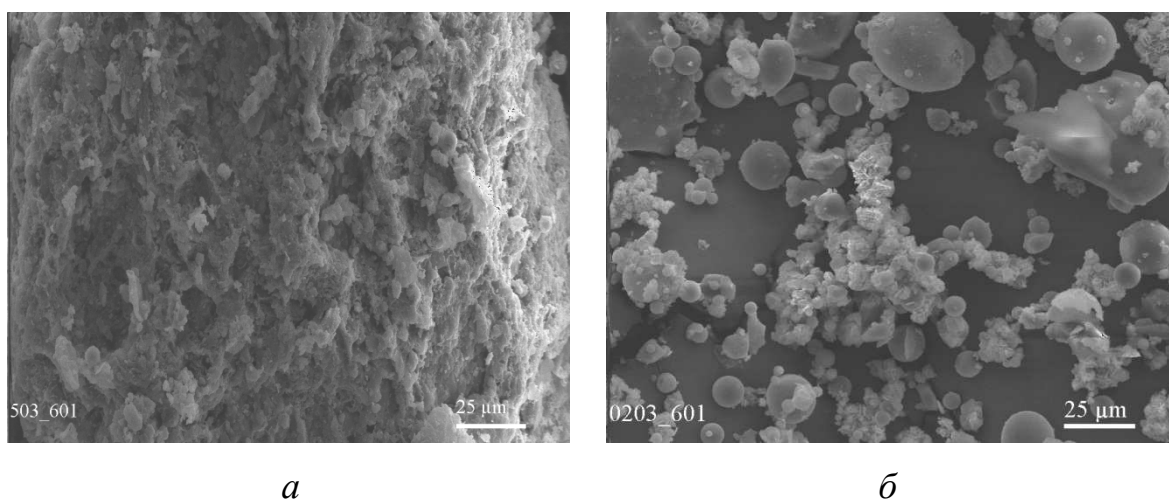


Рис. 2. Микрофотографии золы-уноса: *a* – исходный субстрат; *б* - субстрат после микробиологической обработки

Состав сред, используемых для обнаружения ацидофильных хемолитотрофных бактерий

Вещество	Используемые среды	
	9К для представителей рода <i>Acidithiobacillus</i> , г/л	Модифицированная 9К* для представителей рода <i>Sulfobacillus</i> , г/л
$\text{NH}_4(\text{SO}_4)_2$	3,0	0,45
KCl	0,1	0,05
K_2HPO_4	0,5	–
KH_2PO_4	–	0,05
MgSO_4	0,5	0,5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,01	0,014
Na_2SO_4	–	0,15
Дрожжевой экстракт	–	0,20
	Источник энергии	
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	5,0	–
S^0	2,0	–
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	44,5	30,0

О развитии микроорганизмов судили по изменению внешнего вида накопительной культуры (появлению легкой мути, пленки на поверхности), а также по изменению цвета и значений pH культуральной жидкости. Численность представителей сообщества гетеротрофных и хемолитотрофных ацидофильных бактерий после 5 суток культивирования определяли путем высева десятикратных последовательных разведений бактериальных суспензий на агаризованные среды того же состава. Количество спорообразующих бактерий определяли после предварительной термообработки при 80,0 °C в течение 15 мин [8, 9].

О биогеохимической активности сообщества гетеротрофных и хемолитотрофных как мезофильных, так и умеренно термофильных бактерий, обитающих в техногенных отходах, судили по концентрации металлов, перешедших из твердой фазы в среду культивирования. Содержание металлов в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборах ААС-1 и С-115ПК Selmi [12]. Микрофотографии образцов субстратов

получали с помощью сканирующего электронного микроскопа Superprobe 733 JEOL, который используют для рентгеновского микроанализа.

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. В результате проведенной работы из породных отвалов и золы-уноса стандартными микробиологическими методами получены накопительные культуры микроорганизмов различных физиологических групп – гетеротрофных, мицелиальных грибов и ацидофильных хемолитотрофных сероокисляющих бактерий. О развитии микроорганизмов судили по появлению бактериальных клеток, помутнению и изменению цвета культуральной жидкости. Результаты определения качественного и количественного состава микробиоценозов субстратов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Количественный (КОЕ/мл накопительной культуры) и качественный состав микробиоценоза породных отвалов (субстрат 1) и золы-уноса (субстрат 2)

Субстрат	Гетеротрофные микроорганизмы			Ацидофильные хемолитотрофные бактерии				
				Мезофиллы, окисляющие различные источники энергии- представители рода <i>Acidithiobacillus</i>			Умеренные термофилы - представители родов	
	Среда Горбенко		Среда Чапека	Среда 9К			Среда 9К	Среда 9К*
	Спорообразующие	Неспорообразующие	Мицелиальные грибы	Na ₂ S ₂ O ₃	S ⁰	Fe ⁺²	Na ₂ S ₂ O ₃	Fe ⁺²
Породный отвал	1,9±0,24 x10 ⁶	1,2±0,28 x10 ⁷	5,0±0,32 x10 ³	5,3±0,43 x10 ⁴	1,6±0,24 x10 ⁴	6,4±0,64 X10 ⁴	8,9±0,59 x10 ⁸	7,4±0,37 x10 ⁸
Зола-унос	1,2±0,24 x10 ⁵	4,5±0,28 x10 ⁵	2,5±0,32 x10 ²	3,5±0,43 x10 ³	1,5±0,24 x10 ²	5,9±0,64 X10 ⁴	6,4±0,34 x10 ⁸	6,4±0,59 x10 ⁷

Примечание: 9К* модифицированная среда 9К для представителей рода *Sulfobacillus*

Несмотря на то, что техногенные отходы топливно-энергетического комплекса относят к биокосным, т.е. бедным органическими веществами системам, в исследуемых субстратах обнаружены в большом количестве гетеротрофные микроорганизмы, как спорообразующие, так и неспорообразующие. Количество микроскопических грибов незначительно.

В ацидофильных условиях аборигенное сообщество микроорганизмов может быть представлено хемолитотрофными бактериями, относящимися к родам *Acidithiobacillus*, *Sulfobacillus*, *Leptospirillum*, *Acidimicrobium*, а также археями, принадлежащими к родам *Acidianus*, *Sulfolobus*, *Ferroplasma* [13–15]. Условия развития накопительных культур в наших экспериментах и полученные результаты позволяют считать, что в исследованных субстратах преимущественно обитают представители рода *Acidithiobacillus*, как мезофильные, так и умеренно термофильные. Широкий спектр окисляемых источников энергии свидетельствует о наличии основной группы выщелачивающих бактерий – *A. ferrooxidans*, способной использовать в качестве энергетического субстрата элементарную серу, практически все ее восстановленные соединения (S^0 , SO_3^{2-} и др.), закисное железо и природные сульфидные минералы [6, 16–18]. Количество выделенных на среде 9К с различными источниками энергии аборигенных представителей этой группы микроорганизмов в мезофильных условиях было незначительным и не превышало 10^2 – 10^4 КОЕ/мл в зависимости от природы субстрата. Группа *A. thiooxidans*, которая в отличие от *A. ferrooxidans* способна окислять только восстановленные соединения серы (тиосульфат и серу) [6, 19], из исследуемого минерального сырья в мезофильных условиях также была выделена с титром, не превышающим 10^2 – 10^4 КОЕ/мл (в зависимости от природы субстрата). Наибольшее количество микроорганизмов (10^7 – 10^8 КОЕ/мл) было выделено в термофильных условиях на средах 9К с тиосульфатом и 9К* с двухвалентным железом, что свидетельствует о наличии в аборигенном сообществе представителей *A. caldus* и различных видов *Sulfobacillus*. Полученные результаты соответствуют имеющимся литературным данным [6, 11, 20] о том,

что сульфобациллы обнаружены в тех же экологических нишах, что и тионовые бактерии – отвалах сульфидных руд, кислых гидротермальных и шахтных водах (где температура может достигать 60 °С), и способны окислять соединения серы, Fe²⁺ и сульфидные минералы. Следует отметить, что несмотря на различия в технологических приемах обработки исходных энергетических углей, в результате которых произошло образование исследуемых отходов, принципиальных отличий в составе сформировавшихся в них сообществ микроорганизмов нет. Преобладают гетеротрофные микроорганизмы и ацидофильные хемолитотрофные бактерии.

На следующем этапе исследований была изучена выщелачивающая активность выявленных отдельных представителей сообществ. Несмотря на активный рост представителей аборигенного сообщества гетеротрофных микроорганизмов, их вклад в разрушение кристаллической структуры исследуемых отвалов, сопровождающееся извлечением металлов, незначителен (табл. 4). Наибольшую относительную активность проявляли и более многочисленные по сравнению с золой-уносом (табл. 3) гетеротрофы породных отвалов, однако с максимальным показателем по извлечению 21,81 % германия и 28,30 % кадмия спорообразующими микроорганизмами.

Таблица 4

**Степень извлечения металлов (%) аборигенным сообществом
гетеротрофных микроорганизмов**

Металлы	Спорообразующие		Не спорообразующие		Мицелиальные грибы	
	Породный отвал	Зола-унос	Породный отвал	Зола-унос	Породный отвал	Зола-унос
Ge	21,81	4,75	12,41	2,10	5,11	0,30
Ga	16,13	3,82	8,73	0,94	5,23	0,42
Ni	5,24	5,74	1,93	2,12	0,94	1,43
Cd	28,30	0,12	13,67	0,14	7,52	0,11
Cu	5,54	0,14	3,24	0,14	1,87	0,13
Zn	12,82	1,80	8,25	0,21	3,84	0,15
Mn	4,21	8,74	3,82	4,27	2,92	1,16
Pb	3,84	0,15	2,87	0,13	3,95	0,12

Аборигенные представители рода *Acidithiobacillus* как мезофильные, так и умеренно термофильные, а также рода *Sulfobacillus* проявляли высокую окислительную активность по отношению к большинству регистрируемых металлов исследуемых субстратов (табл. 5, 6), достигая практически количественного извлечения металлов в раствор (до 99,99 %). Наилучшие результаты 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 [6, 13, 16–20].

Таблица 5

Степень извлечения металлов (%) аборигенным сообществом мезофильных ацидофильных хемолитотрофных бактерий

Металлы	Источники энергии (среда 9К)					
	Na ₂ S ₂ O ₃		S ⁰		Fe ⁺²	
	Породный отвал	Зола-унос	Породный отвал	Зола-унос	Породный отвал	Зола-унос
Ge	97,52	99,72	89,30	87,51	99,99	99,70
Ga	83,54	81,34	67,56	79,75	99,99	97,85
Ni	85,36	87,55	73,72	83,32	99,99	99,99
Cd	99,73	99,93	95,31	99,93	99,99	99,99
Cu	13,53	10,04	11,94	24,07	16,50	41,63
Zn	67,52	55,51	53,77	27,58	86,93	5,72
Mn	87,91	99,77	77,55	98,30	99,82	67,85
Pb	57,30	31,36	49,54	29,72	67,14	26,32

Таблица 6

Степень извлечения металлов (%) аборигенным сообществом умеренно термофильных ацидофильных хемолитотрофных бактерий

Металлы	Питательная среда (источник энергии)			
	Среда 9К (Na ₂ S ₂ O ₃)		Среда 9К* (Fe ⁺²)	
	Породный отвал	Зола-унос	Породный отвал	Зола-унос
Ge	85,63	99,70	99,99	99,99
Ga	91,32	99,97	99,75	95,75
Ni	99,39	99,74	99,99	99,99
Cd	99,99	91,35	99,99	99,99
Cu	67,74	13,56	97,34	16,54
Zn	85,86	7,22	37,86	3,88
Mn	99,99	99,99	97,87	98,55
Pb	73,15	41,74	89,34	22,46

Таким образом, установлено, что под воздействием определенных техногенных и природных факторов в процессе образования, складирования и хранения, в техногенных экосистемах топливно-энергетического комплекса формируется высокоэффективное и особое по своему составу аборигенное сообщество, представленное преимущественно гетеротрофными и ацидофильными хемолитотрофными бактериями. Их высокая окислительная активность позволяет выщелачивать из этих субстратов металлы с высокими показателями, что в результате микробиологической обработки сопровождается увеличением аморфности, образованием пустот и разрушением достаточно устойчивых кристаллических структур (рис. 1б, 2б). Сравнение полученных и имеющихся литературных данных свидетельствует о том, что качественный состав ацидофильных хемолитотрофных бактерий, обитающих в техногенных отходах различного происхождения, практически не отличается от структуры микробиоценозов природных сульфидных руд [4, 13, 15, 18, 19]. Полученные знания о доминирующих в аборигенных сообществах представителях разных видов микроорганизмов и их выщелачивающей активности необходимы для разработки и оптимизации высоко эффективной биотехнологии извлечения металлов из минерального сырья техногенного происхождения.

Выражаю благодарность сотрудникам Биотехнологического научно-учебного центра Одесского национального университета имени И.И.Мечникова – к.т.н. Блайда И.А., Слюсаренко Л.И., Хитрич В.Ф. за помощь в проведении микробиологических и физико-химических работ; д.б.н. профессору Иванице В.А. за общее руководство и консультации.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Галецький Л. С. Техногенні родовища – нове нетрадиційне джерело мінеральної сировини в Україні / Галецький Л. С., Науменко У. З., Пилипчик А. Д. // Екологія довкілля та забезпечення життєдіяльності. – 2002. – № 5–6. – С. 77–81.
2. Зубова Л. Г. Терриконики угольних шахт с источниками сырья для металлургии / Зубова Л. Г. // Уголь Украины. – 2000. – № 6. – С. 32–33.
3. Целыковский Ю. К. Экологические и экономические аспекты утилизации золошлаков ТЭС / Ю. К. Целыковский // Энергия. – 2006. – № 4. – С. 27–34.
4. Толстов Е. А. Возможности применения биогeотехнологии при выщелачивании бедных и упорных руд / Толстов Е. А., Латышев В. Е., Лильбок Л. А. // Горный журнал. – 2003. – № 8. – С. 63–65.
5. Васильева Т. В. Металлы из промышленных отходов / Васильева Т. В., Блайда И. А., Иваница В. А. // Энергосбережение. – 2011. – № 5. – С. 31–33.
6. Brierley J. A. Expanding role microbiology in metallurgical processes / J. A. Brierley // Mining Engineering. – 2000. – № 52 (11). – P. 49–53.
7. Состав и выщелачивающая активность микробиоценоза техногенных отходов энергетики [Электронный ресурс] / И. А. Блайда, Т. В. Васильева, Л. И. Слюсаренко, И. Н. Барба, В. А. Иваница. // Проблеми екологічної біотехнології. – 2013. – № 1. – Режим доступу:
<http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/4592>
8. Каравайко Г. И. Практическое руководство по биогeотехнологии металлов / Г. И. Каравайко. – М.: АН СССР, 1989. – 371 с.
9. Герхардт Ф. Методы общей бактериологии. Т. 2 / Ф. Герхардт. – М.: Мир, 1984. – 265 с.
10. Современная микробиология. Прокариоты Т. 2 / ред. Ленгелер Й., Дреус Г. и Шлегель Г. – М.: Мир, 2005. – 496 с.
11. *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.

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

13. 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. – №12. – С. 76–85.

14. Блайда И. А. Извлечение ценных металлов при переработке промышленных отходов биотехнологическими методами [Обзор] / И. А. Блайда // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 6. – С. 39–45.

15. Gericke M. Bioleaching of a chalcopyrite concentrate using an extremely thermophilic culture / Gericke M., Pinches A., van Rooyen J. V. // International Journal of Mineral Processing. – 2001. – № 62 (1). – P. 243–255.

16. Bioleaching of anilite by *Acidithiobacillus ferrooxidans* / Cheng Hai-na, Hu Yue-hua, Gao Jian, Ma Heng // Trans. nonferrous met. soc. china. – 2008. – № 18. – P. 1410–1414.

17. Belgin B. Bioleaching of dewatered metal plating sludge by *Acidithiobacillus ferrooxidans* using shake flask and completely mixed batch reactor / Belgin Bayat and Bulent Sari. // African Journal of Biotechnology. – 2010. – № 9 (44). – P. 7504–7512.

18. Sookie S. Bang The oxidation of galena using *Thiobacillus ferrooxidans* / Sookie S. Bang, Sandeep S. Deshpande, Kenneth N. Han. // Hydrometallurgy. – 1995. – № 37 (2). – P. 181–192.

19. Bioleaching of metals from printed wire boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans* and their mixture / Jingwei Wang, Jianfeng Bai, Jinqiu Xu, Bo Liang // Minerals Engineering. – 2011. – № 24 (11). – P. 1128–1131.

20. Bosecker K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms / K. Bosecker // FEMS Microbiol. Rev. – 1997. – № 20. – P. 591–604.

**РІЗНОМАНІТНІСТЬ СПІВТОВАРИСТВ МІКРООРГАНІЗМІВ У
ТЕХНОГЕННИХ ЕКОСИСТЕМАХ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО
КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ**

Т.В. ВАСІЛЬЄВА

Біотехнологічний науково-навчальний центр

Одеського національного університету імені І.І. Мечникова

*У процесі видобутку, збагачення і спалювання вугілля утворюються відходи, при тривалому зберіганні яких формуються техногенні екосистеми, що представляють як загрозу для навколишнього середовища, так і значний інтерес з точки зору переробки та вилучення цінних рідкісних металів. Методи бактеріального вилуговування стосовно даного виду сировини найбільш виправдані і рентабельні, оскільки є ресурсозберігаючими та екологічно безпечними. Для успішного їх використання необхідно вивчити різноманітність співтовариства мікроорганізмів, яке сформувалося в досліджуваних техногенних екосистемах, з точки зору структури і внеску їх різних груп в вилуговування металів. Стандартними мікробіологічними методами отримані і кількісно оцінені накопичувальні культури мікроорганізмів різних фізіологічних груп – міцеліальних грибів, гетеротрофних мікроорганізмів, мезофільних і помірно термофільних ацидофільних хемолітотрофних сіркоокиснюючих бактерій, встановлена їхня окиснювальна активність. Найкращі результати за колективним вилуговуванням металів в розчин як рідкісних, так і важких, були досягнуті при використанні у якості енергетичного субстрату двовалентного заліза, що в мезофільних умовах підтверджує провідну роль *A. ferrooxidans* в процесах бактеріального вилуговування металів. Це свідчить про те, що якісний склад ацидофільних хемолітотрофних бактерій, що мешкають в техногенних відходах паливно-енергетичного комплексу, практично не відрізняється від структури мікробіоценозів природних сульфідних руд.*

Ключові слова: техногенні відходи, породні відвали вуглезбагачення, зола-виніс, аборигенне співтовариство, консорціум, гетеротрофні мікроорганізми, ацидофільні хемолітотрофні бактерії, активність, біовилуговання, германій, іони важких металів.

**DIVERSITY OF THE MICROORGANISMS COMMUNITY IN THE
TECHNOGENIC ECOSYSTEMS OF UKRAINE FUEL-and-ENERGY
COMPLEX**

T.V. VASYLEVA

Biotechnological centre of I.I. Mechnikov Odessa National University

*The waste, which is generated in the process of mining, processing and burning of coal, forms man-made ecosystems in long-term storage, representing a threat to the environment, and of considerable interest in terms of processing and extraction of rare metals. Methods of bacterial leaching in relation to this type of raw material are the most profitable and justified because they are resource saving and environmentally friendly. For the successful using them it is need to study the diversity microbial communities, which formed in the study man-made ecosystems, in terms of their structure and the contribution of different groups in the leaching of metals. Using standard microbiological techniques obtained and quantified savings culture microorganisms of different physiological groups - filamentous fungi, heterotrophic microorganisms, mesophilic and thermophilic moderately acidophilic sulfur-oxidizing chemolithotrophic bacteria; installed their oxidative activity. The best results for the collective leaching of rare and heavy metals into solution are to be achieved in a mesophilic condition, when used ferrous iron as an energy substrate. This confirms the leading role of *A. ferrooxidans* in the processes of bacterial leaching metals. This indicates that the qualitative composition of acidophilic*

chemolithotrophic bacteria that live in technogenic waste of fuel-and-energy complex does not differ from structure microbiocenoses natural sulfide ores.

Keywords: *man-made waste, coal tailing, fly ash, the aboriginal bacterial community, the consortium, heterotrophic microorganisms, chemolithotrophic acidophilic bacteria, activity, bioleaching, germanium, ions of heavy metals.*