

Очистка и переработка отходов

УДК 606:662.7:[546.3+504]

**Блайда И.А.¹, Баранов В.И.², Васильева Т.В.¹, Васильева Н.Ю.¹,
Немерцалов В.В.¹, Слюсаренко Л.И.¹, Камская В.Л.¹**

¹ Одесский национальный университет

² Львовский национальный университет

Комплексная оценка отходов углеобогащения с точки зрения их фитотоксичности, возможности вторичной переработки и детоксикации

Представлены результаты комплексной химико-биологической оценки отвалов центральной обогатительной фабрики Львовско-Волинского угольного бассейна с точки зрения их фитотоксичности, возможности вторичной переработки и детоксикации. Приведены сравнительные данные о содержании металлов в исследуемых техногенных отходах с их ПДК для почв и промышленно значимыми концентрациями в сырье. С использованием фитотеста выявлено ингибирующее действие металлов в количествах, соответствующих их содержанию в исследуемых техногенных отходах, на всхожесть семян пшеницы (сорт Безостая 1). Показана возможность вторичной переработки отходов углеобогащения консорциумом собственной сероокисляющей микробиоты, обеспечивающей извлечение ценных металлов, в том числе редких — германия и галлия. Одновременно с извлечением металлов при бактериальном выщелачивании происходит детоксикация отвалов, что подтверждено методами биотестирования на семенах пшеницы.

Ключевые слова: отвалы углеобогащения, фитотестирование, бактериальное выщелачивание, сероокисляющая микробиота, детоксикация, галлий, германий.

Представлено результати комплексної хіміко-біологічної оцінки відвалів центральної збагачувальної фабрики Львівсько-Волинського вугільного басейну з точки зору їх фітотоксичності, можливості вторинної переробки та детоксикації. Наведено порівняльні результати щодо вмісту металів у досліджуваних техногенних відходах з їх ГДК для ґрунтів та промислово вагомими концентраціями у сировині. З використанням фітотесту встановлено інгібуючу дію металів у кількостях, відповідних до їх вмісту у досліджуваних техногенних відходах, на схожість насіння пшениці (сорт Безоста 1). Показано можливість вторинної переробки відходів вуглезбагачення консорціумом власної сіркоокислюючої микробиоти, яка забезпечує вилучення цінних металів, у тому числі рідкісних — германію та галію. Одночасно з вилученням металів при бактеріальному вилужуванні відбувається детоксикація відвалів, що підтверджено методами біотестування на насінні пшениці.

Ключові слова: відвали вуглезбагачення, фітотестування, бактеріальне вилужування, сіркоокислювальна микробиота, детоксикація, галій, германій.

Хозяйственная деятельность по добыче и переработке минерального сырья, функционированию предприятий горнодобывающей, металлургической, энергетической промышленности сопровождается систематическим нарушением равновесия экосистем, которое происходит независимо от воли людей. В результате на земной поверхности накопилось большое количество отходов, соответствующих определению техногенных месторождений как «многоотоннажных скоплений отходов добычи и переработки минерального сырья, которые можно использовать с народнохозяйственным эффектом» [1, 2]. В группу техногенных отходов входят терриконы угольных шахт и разрезов; отвалы рудников и карьеров сульфидных руд цветных металлов, оксидных и силикатных руд черных и легирующих металлов; шламо- и хвостохранилища горно-обогатительных фабрик. Техногенные отходы, образующиеся, в частности, при добыче и сжигании углей, в Украине сформировались в более 1100 терриконов, под которые занято 6,5 тыс. га плодородной земли, выведенной из сельскохозяйственного пользования [2, 3]. Эти отвалы оказывают негативное влияние на биоту, вызывают количественные и качественные перестройки в структуре различных экологических ниш, их накопление приводит к ухудшению здоровья людей.

Отходы углеобогащения и сжигания углей характеризуются повышенным содержанием редких металлов (германий, галлий, скандий, иттрий), входящих наряду с другими элементами (кремний, алюминий, железо, кальций, магний, натрий, калий) в минеральную часть угля. К промышленно ценным относят U, Ge, Ga, Mo, V, Hg, Re, B, Li, Ag, Se, PЗЭ, Sc, Be, Au; к экологически опасным — As, Hg, Be, V, Zn, Pb, Mo, U, F, Cl, Ni, Cr, Sb, B, Cu, Th, Ra, U [1–5]. Поэтому отвалы углеобогащения и золы от сжигания углей можно рассматривать и как сырьевой источник редких элементов, и как продукт накопления и длительного хранения с необходимостью снижения в нем содержания тяжелых и токсичных металлов до безопасных концентраций. Их вторичная переработка — путь к решению важнейших отечественных медико-экологических и социально-экономических задач, так как она позволяет не только снизить негативное влияние на окружающую среду, уменьшить площади отчуждаемых под отвалы земель, но также частично решить задачу ресурсосбережения и комплексности использования природного сырья. В настоящее время наиболее экономически оправданными и экологически безопасными методами вторичной перера-

ботки таких отходов являются современные биотехнологические с использованием специализированных микроорганизмов [6–11].

Вопрос о негативном воздействии на окружающую среду техногенных отходов, постоянно увеличивающихся в объемах, поднимался давно [1, 2, 5]. Классические стандартные физико-химические методы оценки экологической опасности различных сред не дают возможности определить меру опасности выявленного загрязнения для живых организмов (в том числе и человека), их сообществ и экосистем в целом. Определение негативных биологических эффектов загрязнений с использованием набора живых организмов позволяет выявить наличие токсического, мутагенного, канцерогенного, терратогенного и других неблагоприятных факторов [12, 13].

В настоящее время, учитывая количественный и качественный потенциал методов биотестирования, опыт многих исследователей, а также отсутствие универсального тест-объекта для генотоксической оценки почв и твердых промышленных отходов, широко используется группа растительных тест-объектов, в частности, семена высших растений: редиса, пшеницы и овса. Фитотест способен адекватно реагировать на экзогенное химическое воздействие, информативен, высоко чувствителен, характеризуется стабильностью получаемых результатов [14–17].

Цель настоящей работы — установление негативного биологического воздействия техногенных отвалов с повышенным содержанием тяжелых металлов на окружающую среду, а также возможности их детоксикации и вторичной переработки с целью извлечения ценных компонентов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: определение содержания металлов в отвалах центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) Львовско-Волынского угольного бассейна; оценка влияния индивидуальных модельных растворов никеля, марганца, свинца, цинка, меди и железа в концентрациях, соответствующих их содержанию в отвалах, на всхожесть семян пшеницы; определение влияния отвалов ЦОФ на всхожесть семян пшеницы; установление возможности использования биотехнологических методов для вторичной переработки отвалов ЦОФ, обеспечивающей снижение их фитотоксичности и извлечение металлов.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований служили модельные растворы меди, цинка, свинца, кадмия, ни-

Таблица 1. Содержание металлов в отвалах ЦОФ Львовско-Волынского угольного бассейна

Металл/нт	Класс опасности	ПДК для почв, мг/кг	Промышленные концентрации, мг/кг	Обнаруженные концентрации, мг/кг
Медь	2	3,0	45,0–60,0	89,1
Цинк	1	23,0	65,0–70,0	62,1
Марганец	3	1500	850,0–1000,0	44500
Свинец	1	30,0	18,0–22,0	66,4
Никель	2	4,0	80,0–120,0	79,5
Кадмий	1	0,5	45,0–55,0	3,6
Железо	–	3700,0	1500,0–2000,0	73900
Галлий	–	н/д	10,0–15,0	12,1
Германий	–	н/д	5,0–7,0	25,8

келя, железа, марганца и их смеси (концентрации металлов в индивидуальных растворах и смесях соответствовали среднему содержанию металлов в отвалах), а также породные отвалы ЦОФ ОАО «Львовская угольная компания», образующиеся при гравитационном и флотационном обогащении угля всех шахт Львовско-Волынского угольного бассейна.

Исследуемое сырье — достаточно выкристаллизованная порода с различными структурно-текстурными особенностями, представленная в основном аргиллитами (до 97,0 %) и алевролитами (до 28,0 %), песчаником (до 20,0 %), углем (до 17,0 %) с содержанием пирита (до 1,0 %), серы (до 4,5 %) и органической массы (до 2,0 %) [2, 3].

Средний химический состав породы отвалов следующий, %: SiO₂ — 40,0–56,0; Fe₂O₃ — 6,0–10,0; Al₂O₃ — 20,0–25,0; CaO — 0,7–1,0; MgO — 0,7–1,8; K₂O — 1,9–2,5; Na₂O — до 0,5; S — 1,2–3,0; TiO₂ — 0,7–1,2; MnO — до 0,2; P₂O₅ — до 0,1. Из-за повышенных содержаний тяжелых металлов (табл.1) и высокой кислотности (рН 2,8–4,5) исследуемые отходы относятся к 4 классу опасности.

Методика проведения фитотестирования

Для установления негативного биологического влияния исследуемых отвалов использовали фитотест на всхожесть семян пшеницы (сорт Безостая 1) при их проращивании непосредственно на исследуемых образцах отвалов. Такой методический подход наиболее достоверен, так как проращивание в водных вытяжках не всегда позволяет выявить загрязнения и, следовательно, не всегда достоверно.

Проращивание семян осуществляли в термостате в чашках Петри с увлажненной (15 мл дистиллированной воды) фильтровальной бумагой, на которую помещали 5,0 г исследуемого отвала и 20 зерен пшеницы. Показателем

фитотоксичности служило снижение всхожести семян по сравнению с контрольной пробой; срок экспозиции 3 сут. Критерием фитотоксического действия было ингибирование регистрируемых показателей в опыте по сравнению с контролем: > 50,0 % — фитотоксический выраженный негативный; 35,0–50,0 % — средний негативный; 25,0–35,0 % — слабый негативный; < 25,0 % — отсутствие негативного фитотоксического эффекта [14, 15].

Бактериальное выщелачивание проводили с использованием сообщества ацидофильной сероокисляющей микробиоты, обитающей в исследуемых отвалах. Интенсификацию окислительной активности бактерий осуществляли добавлением к исследуемому сырью выщелачивающих растворов, в качестве которых использовали стандартную среду 9К без источника энергии (раствор 1); с добавлением в качестве источника энергии Fe(II) (раствор 2), Na₂S₂O₃ (раствор 3), тиомочевины (раствор 4), серы (раствор 5). Процесс бактериального извлечения металлов из отвалов проводили в колбах объемом 0,5 л при температуре 30,0 ± 2,0 °С, соотношении твердой и жидкой фазы 1 : 10, значении рН ~ 1,8 (поддерживали добавлением раствора H₂SO₄ концентрацией 0,5 моль/л) [7, 8].

Количественный химический анализ твердых образцов осуществляли спектральным методом на атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200 CCD (Россия). Содержание металлов в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборах ААС-1 (Германия) и С-115ПК Selmi (Украина) (чувствительность 10⁻⁶–10⁻⁸ г в зависимости от определяемого металла, точность ± 0,9 %). Концентрацию германия в растворах определяли экстракционно-фотометрическим методом на приборе КФК-2 (Россия) в виде германомолибденовой кислоты с предварительным экстракционным отделением примесей четыреххлористым углеродом (чувствительность 10⁻⁶ г, точность ± 1,0 %) [18]. В работе использовали реактивы

Таблица 2. Степень извлечения металлов (%) из отходов в раствор в процессе бактериального выщелачивания

Раствор	Mn	Zn	Pb	Ni	Cu	Cd	Ge	Ga
1	99,9	55,6	15,6	59,9	24,0	99,9	99,9	99,9
2	99,9	92,7	21,8	99,9	36,6	99,9	99,9	99,9
3	99,9	27,0	7,8	99,9	12,0	99,9	55,0	90,5
4	99,9	66,0	15,6	99,9	30,1	99,9	99,9	90,5
5	99,9	93,9	11,0	99,9	24,0	99,9	99,9	70,6

марки «ХЧ» и «ЧДА» ООО НПФ «Симеста ВААЛ» (Украина). Статистическую обработку данных осуществляли стандартными методами с использованием программы MS Excel 2003.

Результаты и их обсуждение

Тяжелые металлы свинец, кадмий, медь, цинк, входящие в состав отходов ЦОФ Львовско-Волынского угольного бассейна, относятся к «критической группе веществ — индикаторов стресса окружающей среды», являясь одними из самых опасных факторов антропогенного загрязнения. По данным многочисленных исследований, эти металлы оказывают генотоксическое действие не только на природные экосистемы, но и на организм человека [19, 20].

В табл.1 приведены данные количественного спектрального анализа исследуемых отходов, значения ПДК металлов для почв (рекреационно-ландшафтного и сельскохозяйственного назначения), а также промышленно значимые концентрации наиболее ценных металлов в сырье. Анализ данных табл.1 свидетельствует о значительном превышении (в 2–30 раз) содержания тяжелых металлов в отходах по сравнению с их ПДК для почв, а также о наличии многих ценных металлов, в том числе галлия и германия, в количествах, достаточных для их рентабельного извлечения.

Изучая биологическую опасность металлосодержащих отходов, принимали во внимание то, что несмотря на их сложный многокомпонентный химический состав основной вклад в токсичность отходов приходится на долю большого количества тяжелых металлов. Вследствие этого оценке по биологическим показателям подлежали приоритетные, обладающие наибольшей опасностью металлы, входящие в состав отхода: никель, цинк, свинец, железо, медь, марганец, а также их смеси. Согласно полученным результатам, все ме-

таллы в исследуемых концентрациях, а также отвалы ЦОФ обладали токсическим действием на семена пшеницы и угнетали их всхожесть.

Минимальное токсическое действие на семена пшеницы оказывали растворы солей свинца, никеля, цинка и марганца, которые подавляли их всхожесть на 40,0–55,0 % (рис.1). Согласно выбранному критерию токсичности, полученный результат можно расценивать как средний негативный фитотоксический эффект [14, 15]. Следующими по уровню фитотоксического эффекта следует считать растворы меди, под влиянием которых способностью к всхожести обладали лишь 26,0 % заложенных в опыт семян пшеницы. Аналогичным действием на тест-объект обладала смесь всех исследуемых металлов. В условиях этого эксперимента взошедшими можно считать всего 10,0 % заложенных в опыт семян. Растворы железа приводили к гибели всех опытных семян пшеницы. При проращивании зерен пшеницы в присутствии отходов ЦОФ всхожесть наблюдали в 20,0 % случаев. Следовательно, растворы меди, железа, смеси металлов, а также отвалы ЦОФ оказывали выраженный негативный фитотоксический эффект согласно выбранному критерию токсичности. Поскольку кон-

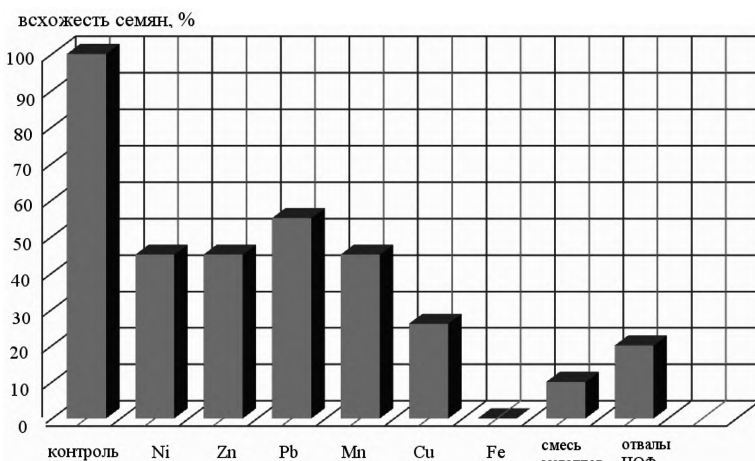


Рис.1. Фитотоксичность индивидуальных растворов металлов, их смеси и отходов ЦОФ (тест-объект — семена пшеницы, тест-функция — всхожесть семян).

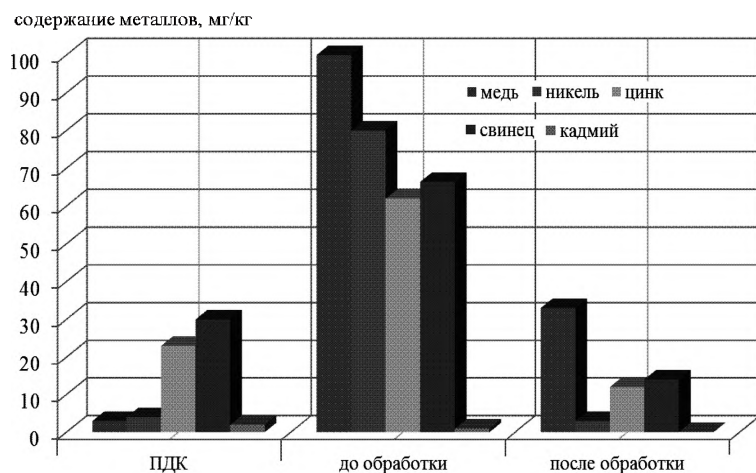


Рис.2. Содержание металлов в отвалах до и после бактериального выщелачивания: 1 – медь; 2 – никель; 3 – цинк; 4 – свинец; 5 – кадмий.

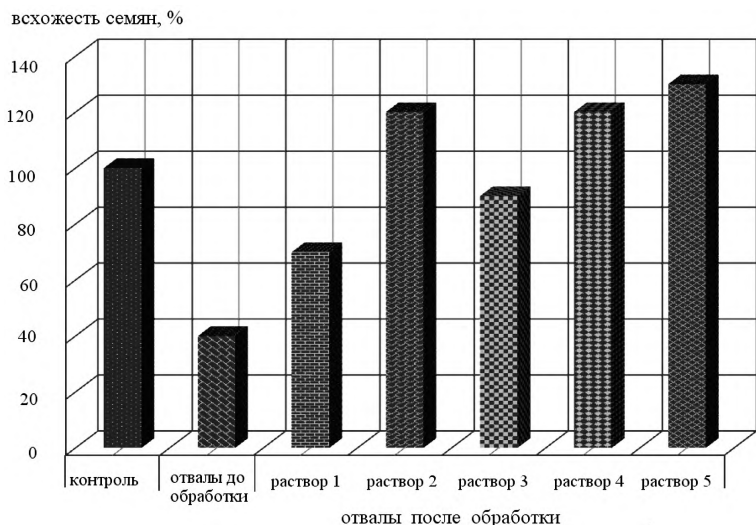


Рис.3. Фитотоксичность отвалов ЦОФ до и после бактериального выщелачивания (тест-объект – семена пшеницы, тест-функция – всхожесть семян).

центрации металлов в модельных растворах соответствовали их содержанию в отвалах, можно предположить, что выраженные негативные биологические эффекты исследованных техногенных отходов, установленные при использовании фитотеста, обусловлены наличием в них тяжелых металлов, а также возможным появлением вновь образованных в результате техногенеза соединений.

Таким образом, в данной серии экспериментов подтверждены известные данные о токсичности тяжелых металлов в общем, а также впервые установлена фитотоксичность конкрет-

ных исследуемых отвалов углеобогащения с использованием в качестве тест-объекта зерен пшеницы. В работах [21, 22] приведены данные об ингибировании прорастания семян пшеницы, календулы, огурцов, кукурузы, редиса водными стоками с отвалов ЦОФ Львовско-Волынского угольного бассейна как следствия их химического состава. Определенной закономерности негативного биологического эффекта на всхожесть семян растений выявлено не было – регистрировали ингибирование прорастания семян от 20,0 до 60,0 %, и незначительное стимулирующее действие.

При проведении следующей серии экспериментов необходимо было установить принципиальную возможность извлечения из исследуемых отвалов тяжелых и ценных металлов в результате их бактериального выщелачивания сообществом acidophilic сероокисляющих бактерий, а также изучить фитотоксичность отработанных отвалов. Согласно полученным данным (табл.2), эффективность процесса выщелачивания для металлов была различной и зависела от состава растворов (используемого источника энергии).

В процессе выщелачивания металлов консорциумом сероокисляющих бактерий в большинстве экспериментов регистрировали практически полное извлечение марганца, никеля, цинка, кадмия, германия, галлия из отвалов в раствор. В результате концентрация этих металлов в отработанных отвалах снижалась до следовых количеств (относительно

никеля, марганца, кадмия и цинка происходит практическая полная детоксикация отвалов), а меди до 33,3 мг/кг, что остается выше ПДК в 2,7 раза (рис.2).

Снижение токсичности отвалов в результате микробиологической обработки, согласно выбранному нами критерию, очевидно (рис.3). При этом обработанные отвалы не только не оказывали ингибирующего действия на всхожесть семян пшеницы, но и в некоторых случаях (при использовании растворов 2, 4, 5) проявляли незначительное стимулирующее воздействие на проверяемую тест-функцию (рис.3).

Выводы

Дана комплексная химико-биологическая оценка отходов углеобогащения ЦОФ Львовско-Волынского угольного бассейна. Выявлено, что концентрации металлов в отвалах превышают ПДК в несколько раз, что свидетельствует об экологической опасности исследуемого минерального сырья. Кроме тяжелых металлов, относящихся к критической группе загрязнений, в исследуемом сырье в значительных количествах обнаружены редкие металлы галлий и германий, что позволяет отнести техногенные отходы угольной промышленности к нетрадиционным источникам ценных компонентов.

При проведении биотестирования установлено фитотоксическое действие металлов в концентрациях, соответствующих их содержанию в исследуемых отвалах. Максимальное ингибирование всхожести семян пшеницы породой из отвала, раствором железа и раствором смеси металлов составило 80,0, 100,0 и 90,0 % соответственно.

Подтверждена возможность извлечения металлов, в том числе редких, из исследуемых отвалов в процессе бактериального выщелачивания консорциумом собственной сероокисляющей микробиоты. При проведении исследований выявлены наиболее эффективные энергетические субстраты, при использовании которых происходит максимальное извлечение металлов и соответственно более эффективная детоксикация отвалов. В процессе микробиологической обработки происходит почти полное (на 99,9 %) извлечение не только макрокомпонентов, но и редких металлов галлия и германия, что делает привлекательным дальнейшую разработку биотехнологического метода вторичной переработки отвалов ЦОФ Львовско-Волынского угольного бассейна.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности и необходимости проведения работ с использованием биотехнологических методов, которые обеспечат дополнительное получение ценных компонентов, детоксикацию техногенных отходов угольной промышленности для дальнейшего использования их при производстве строительных материалов и рекультивации ландшафтов. В этом случае реализуются принципы разработки безотходных технологий и комплексного использования минерального сырья.

Список литературы

1. Зубова Л.Г. Терриконики угольных шахт — источники сырья для металлургии // Уголь Украины. — 2000. — № 6. — С. 32–33.
2. Салихов В.А. Перспективы использования цветных и редких металлов, содержащихся в углях и золе углей Кузбасса, для металлургической промышленности Сибирского региона // Цв. металлы : Сб. докл. — Красноярск : ООО «Версо», 2010. — С. 791–797.
3. Галецкий Л.С., Науменко У.З., Пилипчик А.Д. Техногенні родовища — нове нетрадиційне джерело мінеральної сировини в Україні // Екологія довкілля та забезпечення життєдіяльності. — 2002. — № 5–6. — С. 77–81.
4. Пашков Г.Л., Сайкова С.В., Кузьмин В.И. и др. Золы природных углей — нетрадиционный сырьевой источник редких элементов // Цв. металлы : Сб. докл. — Красноярск : ООО «Версо», 2011. — С. 360–364.
5. Цельковский Ю.К. Экологические и экономические аспекты утилизации золошлаков ТЭС // Энергия. — 2006. — № 4. — С. 27–34.
6. Briely J.A. Expanding role microbiology in metallurgical processes // Mining Eng. — 2000. — Vol. 52, № 11. — P. 49–53.
7. Блайда И.А. Извлечение ценных металлов при переработке промышленных отходов биотехнологическими методами (Обзор) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 6. — С. 39–45.
8. Блайда И.А., Васильева Т.В., Иванец В.О. Вилучення германію з відходів свинцево-цинкового виробництва тіоновими бактеріями // Мікробіологія і біотехнологія. — 2011. — № 2. — С. 73–82.
9. Каравайко Г.И. Практическое руководство по биогеотехнологии металлов. — М. : Изд-во АН СССР, 1989. — 371 с.
10. Кузякина Т.И., Хайнасова Т.С., Левенец О.О. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд // Вест. наук о Земле. — 2008. — Т. 60, вып. 12. — С. 76–85.
11. Толстов Е. А., Латышев В. Е., Лильбок Л. А. Возможности применения биогеотехнологии при выщелачивании бедных и упорных руд // Горн. журн. — 2003. — № 8. — С. 63–65.
12. Калаев В.Н., Буторина А.К., Шелухина О.Ю. Оценка антропогенного загрязнения районов г. Старый Оскол по цитогенетическим показателям семенного потомства березы пониклой // Экологическая генетика. — 2006. — Т. 4, № 2. — С. 9–21.
13. Фонштейн Л.М., Абилов С.К., Бобринев Е.В. Методы первичного выявления генотоксической активности загрязнителей среды с помощью бактериальных тест-систем. Метод. указания. — М., 1985. — С. 32–35.
14. ГОСТ 12038-84. Методы определения всхожести и энергии прорастания. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. — Введ. 01.01.84.
15. Гродзинский Д.М. Аллелопатия в жизни растений и почвоутомление. — Киев : Наук. думка, 1991. — 400 с.
16. Журавлева А.Н., Бухарина И.Л. Использование семян древесных и травянистых растений в качестве тест-объектов при фитоиндикации городских

- почв // Безопасность в техносфере. — Ижевск : Изд-во Удмурт. ун-та, 2010. — 232 с.
17. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузяхметов Г.Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы // Вест. Башкир. ун-та. — 2001. — № 1. — С. 32–34.
 18. Назаренко В.А. Аналитическая химия германия. — М. : Наука, 1973. — 264 с.
 19. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве : Руководство. — М., 1986. — 320 с.
 20. Левина Э.Н. Общая токсикология металлов. — Л. : Медицина, 1972. — 367 с.
 21. Баранов В.І., Книш І.Б. Хіміко-мінералогічний склад порід відвалу вугільних шахт ЦЗФ «Львів-системенерго» та їх вплив на проростання насіння // Матеріали V Міжнар. наук. конф. «Промислова ботаніка : Стан та перспективи розвитку», Донецьк, 2007. — С. 36–37.
 22. Баранов В.І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ «Львівсистеменерго» як об'єкта для озеленення // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. — 2008. — Вип. 46. — С. 172–178.

Поступила в редакцію 15.03.12

***Blayda I.A.¹, Baranov V.I.², Vasyleva T.V.¹,
Vasyleva N.Yu.¹, Nemertsalov V.V.¹,
Slytsarenko L.I.¹, Kamskaya V.L.¹***

¹ *Odessa National University*

² *Lviv National University*

Complex Assessment of The Waste Coal Beneficiation in Terms of Their Phytotoxicity, the Possibility of Recycling and Detoxification

The results of complex chemical and biological evaluation of the waste dumps of Central Beneficiation Plant Lvov-Volyn Coal Basin from the point of view phytotoxicity, the possibility of recycling and detoxification have been presents. Comparative data on the content of metals in the under study technogenic waste with their MPC for soil and industrially relevant concentrations in the feed have been done. The inhibitory effects of metals in amounts corresponding to their content in the under study technogenic waste on seed wheat germination (variety Bezostaya 1) using phytotest have been revealed. The possibility of recycling of waste coal beneficiation by sulfur-oxidizing microbiota consortium, providing extraction of valuable metals, including rare — germanium and gallium, have been presents. At the same time with the extraction of metals in bacterial leaching of waste dumps is detoxification, which is confirmed by means of biotests on the wheat seeds.

Key words: coal beneficiation waste dumps, phytotest, bacterial leaching, sulfur-oxidizing microbiota, detoxification, gallium, germanium.

Received March 15, 2012