

УДК 550.846+622.271.4+628.544

**Мусич Е. Г., Демихов Ю. Н.**

*ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»*

## **УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ УРАНО- И ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДАМИ БИОГЕОМЕТАЛЛУРГИИ**

*Рассмотрена проблема переработки «хвостов» и отвалов горно-обогатительных и металлургических производств методами биогеохимии. Обоснована возможность управления отходами и извлечения редких и редкоземельных металлов из отвалов.*

### **Введение**

Для Украины, производящей значительную долю минеральной продукции мира и обладающей мощным горнопромышленным потенциалом, проблема утилизации промышленных отходов имеет первостепенное значение, поскольку это:

- снижение себестоимости товарной продукции из отходов;
- сокращение расходов на поиски и разведку месторождений;
- рекультивация земель занимаемых отходами;
- ликвидация источников загрязнения окружающей среды, улучшение экологической обстановки вокруг действующих предприятий.

В предыдущих работах [1,2] проанализировано значение биотехнологических методов переработки минерального сырья (дешевизна, экономичность, селективность извлечения полезных компонентов, рациональное использование природных ресурсов), которые позволяют решать промышленные задачи одновременно с экологическими.

Целью данного сообщения является обоснование возможности применения принципов микробиологической гидрометаллургии для переработки хвостов и отвалов горно-обогатительных и металлургических производств и извлечения цветных, редких, благородных металлов из руд сложного состава, а также «бедных» руд.

### **Характеристика отходов различных отраслей промышленности**

Отходы производства – это неиспользуемые продукты добычи и переработки минерального сырья, выделяемые из массы добытого полезного ископаемого (горные массы) в процессах разработки месторождения, обогащения и химико-металлургической переработки. Они имеются в угольной, черной и цветной металлургии, горной химии (промышленности минеральных удобрений), в промышленности строительных материалов, ядерной энергетике. Так, ядерная индустрия образует отходы на урановых шахтах и карьерах, обогатительных заводах и аффинажных производствах (в отвалы идет уран природного изотопного состава) [3].

Отвалы отработанной породы и хвостохранилища являются источниками поступления радионуклидов в природные воды; загрязнения подземных и поверхностных вод ядовитыми нерадиоактивными веществами, такими как тяжелые металлы и реагенты, используемые при переработке руды, вследствие эрозии систем хвостохранилищ и рассеяния токсинов ветром и водой. В настоящее время проблема отвалов актуальна как для Европы, так и Украины, где скопились мощные отвалы урановых руд [4].

Уран содержится не только в отвалах урановых шахт, отвалы тепловых электростанций на угле также содержат уран в перспективных количествах при повторном использовании. В хвостах китайских угольных станций находится 0,28 кг урана в одной тонне угольных отвалов, так что переработка 5 млн. тонн отвалов может дать полторы тысячи тонн урана, и этот уран может обеспечить, в принципе, всю атомную энергетику Китая [5].

Если переработка урановой руды на обогатительной фабрике нерентабельна, то уран из «бедной» руды извлекают методом кучного выщелачивания и возникает опасность стока урансодержащих растворов и утечка серной кислоты. К сожалению, после завершения работ экологическая опасность сохраняется из-за естественных процессов выщелачивания, имеющих место благодаря присутствию в породе минерала пирита ( $\text{FeS}_2$ ). Осадки, вместе с притоком воздуха вызывают в слое непрерывную генерацию серной кислоты, что приводит к постоянному выщелачиванию урана и других загрязнителей, отравляя грунтовые воды в течение многих столетий. Сульфиды металлов в контакте с водой и воздухом в теплом климате имеют тенденцию вступать в реакцию, особенно в присутствии некоторых бактерий. Получающиеся при этом серная кислота и токсические тяжелые металлы могут попадать через грунтовые воды в водоемы. В случае скважинного выщелачивания (in Situ Leaching) урановая руда не удаляется из месторождения, но по одним скважинам подается выщелачивающая жидкость, а обогащенная ураном жидкость извлекается через другие скважины – в данном случае отсутствуют отвалы пустой породы [6].

Однако, обе эти технологии имеют определенные недостатки:

- риск распространения выщелачивающей жидкости за пределы рудного тела, с последующим загрязнением грунтовых вод;
- непредсказуемое воздействие экстрагента на породы, окружающие рудное тело;
- возникновение шлаков и сточных вод в процессе извлечения урана из растворов;
- невозможность восстановления грунтовых вод после завершения добычи.

Все эти скопления отходов представляют опасность для окрестных жителей, так как и после закрытия рудников в них продолжается генерация радона (постоянно поступает в воздух из почвы, просачиваясь из минералов, содержащих уран). Кроме того, ряд токсинов (не обязательно – радиоактивных) вымываются из отвалов и терриконов и загрязняют грунтовые воды.

Отвалы урановой руды могут быть источником ценного сырья, приносящим доход. По данным ГП «Укргеология» содержание редкоземельных элементов в 1 т породы следующее: галлий – 100 г, германий – 55 г, скандий – 20 г. Общее же количество редкоземельных элементов в отвалах – 230-260 г на 1 т [7].

### **Оценка влияния технологических процессов переработки сырья на окружающую среду**

Руды Украинского Щита бедные: при низком содержании урана в породах – 99,9% руды идет в отходы. Кроме U, хвосты содержат все элементы уранового ряда, т.е. 85% радиоактивности, бывшей в руде, ибо долгоживущие продукты распада урана: торий-230 и радий-226 при переработке не удаляются. Поскольку уран не может быть в ходе перемалывания руды полностью отделен от пустой породы, 5 - 10% его отправляется в отвалы. Процесс уменьшения активности «хвостов» и отвалов может длиться миллион лет. Если, например, 90% урана удалось извлечь из руды с 0,1% содержанием урана, радиоактивность отвалов через 1 миллион лет стабилизируется на уровне в 33 раза превышающем естественный фон. Поскольку период полураспада  $^{238}\text{U}$  составляет 4,5 миллиарда лет, радиоактивность фактически перестаёт уменьшаться. Кроме радиоактивных элементов, хвосты содержат ряд токсичных веществ, которые ранее присутствовали в руде. Например, мышьяк, а также химикалии, использовавшиеся при добыче руды. Все эти вредные вещества подвижны и могут нарушить геохимическое равновесие, вызвать процессы, опасные для окружающей среды, т.е. препятствуют дегидратации шламов и уменьшению утечки токсинов. Если руда содержит пирит ( $\text{FeS}_2$ ), то в залежах отходов при проникновении осадков и кислорода возникают кислоты, стимулирующие выщелачивание загрязнителей, ухудшается качество подстилающего изолирующего слоя и тем самым увеличивается выход токсинов в грунтовую воду [8].

Существенно, что при теплом, дождливом климате из отвалов происходит сток значительных количеств кислотных отходов, известных как «кислотный горный дренаж» [9].

Сухие «хвосты», в виде мелкозернистых песков, часто неправомерно использовались для строительства домов или для засыпки бытовых отходов. В домах, построенных из таких материалов, имеют место высокие уровни  $\gamma$ -радиации и радона. Утечка из хвостохранилища загрязняет почву и грунтовые воды. Смыв и просачивание радионуклидов из хвостохранилищ, шахт и других загрязненных участков повышает их концентрацию в местных реках и питьевой воде. Главную роль в миграции радионуклидов играет водная эрозия отходов под воздействием осадков [10].

Считается, что самое простое решение проблемы отходов – возврат их туда, откуда их взяли – в подземные горные выработки, карьеры и т.п. Однако, это - не лучшее решение. Возвращение отходов в подземную шахту часто неприемлемый выбор: после остановки насосов, материал окажется в прямом контакте с грунтовой водой. К тому же, только часть старых штолен доступна. Тоже можно сказать и об идее возвращения отходов в карьеры. Захоронение в горных выработках возможно, если из-за наличия естественных или искусственных гидроизолирующих слоёв, контакт отходов и грунтовой воды полностью исключен. Предварительная переработка отходов перед захоронением методами гидрометаллургии снизит негативное влияние на окружающую среду.

### **Применение передовых биотехнологий по утилизации отходов уранодобывающей промышленности**

В настоящее время возможно управление отходами. С этой целью проводится детальное гидрогеологическое исследование участка под отходами и в окрестностях хвостохранилища.

Породы в зависимости от условий добычи (разные горизонты имеют различные по вещественному составу вмещающие породы), формы отсыпки (конусная, овальная), степени переработки характеризуются различными показателями физико-механических свойств. Так, изучение показателей свойств (изменение количества пирита, содержание мелкозема, потери при обогащении) смесей пород позволяет определить область применения материала в различных отраслях горнодобывающей и перерабатывающей промышленности [4,9].

Группа компаний ТЕХНОЕВРОЛЮКС предлагает эффективное решение по утилизации урановых отвалов и рекультивации территории под урановыми отвалами по технологии БИОЛЮКС ПРО в два этапа: I-й этап: Биовыщелачивание урана из отвалов и сорбция урана на ионообменной смоле. II-й этап: Рекультивация территории с помощью органических удобрений, получаемых на основе собственных биотехнологий [11]. Достоинства технологии «БИОЛЮКС ПРО» следующие:

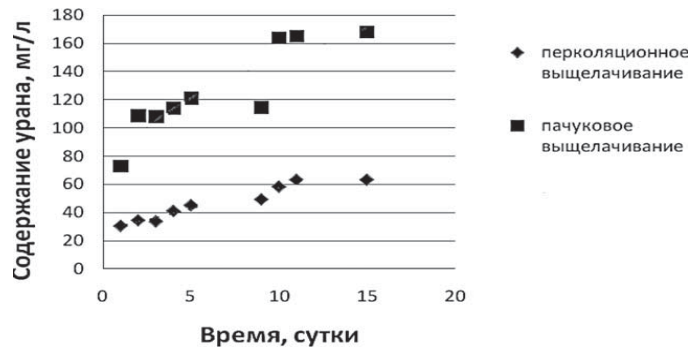
1. Возможность извлечения урана из пород, имеющих малое содержание урана в своем составе. Увеличение объема производства урана при малых затратах.
2. Возможность извлечения других металлов, в том числе редких и редкоземельных из отвалов пород.
3. Проведение рекультивации территории, на которой находятся отходы уранодобывающих и ураноперерабатывающих предприятий.
4. Обеспечение экологической безопасности ураноперерабатывающих предприятий.
5. После микробиологической обработки возможность использования горной породы в качестве строительного материала.
6. Снижение затрат электроэнергии по сравнению с традиционными способами извлечения урана.
7. Уменьшение расхода кислоты в 3-4 раза по сравнению с традиционными способами извлечения урана.

Микробиологическое выделение урана в раствор проводят по стандартной технологии ураноперерабатывающих предприятий (сорбция-десорбция).

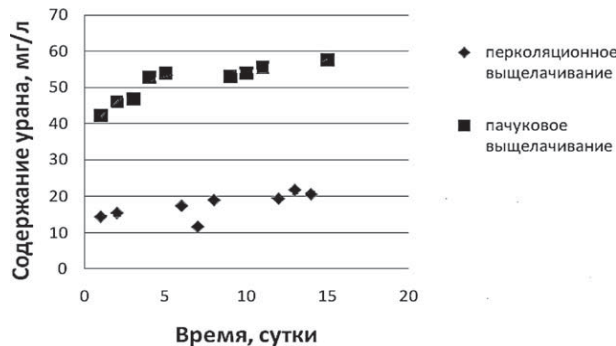
В процессе биопереработки получается экологически чистый биогу́мус, из которого производится жидкое органическое удобрение комплексного действия для рекультивации земель сельскохозяйственного назначения, создавая плодородный слой почвы на песчаных, пустынных и скалистых грунтах.

Применение микробиологического выщелачивания для переработки хвостохранилищ в перспективе может решить множество экологических проблем и получить ряд ценных материалов из отвалов. Так, для переработки хвостохранилищ было предложено апробировать различные технологические схемы микробиологического выщелачивания урана из руд и отвальных пород на основе ассоциации микроорганизмов, применявшейся для микробиологической деструкции боеприпасов, содержащих тротил и (или) гексоген [12]. Проверка данного метода осуществлялась на ГП «ВостГОК» применительно к пачуковому и перколяционному методам выщелачивания. В качестве исходных использовались пробы руд Ингульской шахты фракцией от 0,5 до 1,0 мм с исходным содержанием урана от  $0,33 \cdot 10^{-3}$  до  $86,5 \cdot 10^{-3}$  %, что соответствовало содержанию урана в блочных рудах текущей переработки и в забалансовых рудах.

В работе [12] установлено (рис.1, 2), что процессы перколяционного и пачукового выщелачивания урановых руд в опробованных условиях характеризуются высокой степенью извлечения урана (94–98 %). Для блочной руды за 15 сут обработки извлечено 97,7 % в пачуковом режиме и 95,1 % — в перколяционном. Для забалансовой руды за 15 сут обработки извлечение урана соответственно составило 94 и 88 %. При этом использование ассоциации микроорганизмов рода *Tiobacillus* и ацидофильных бактерий не требовало подкисления, что, в свою очередь, приводило к снижению расходования  $H_2SO_4$  до 80 и 55 кг/т для блочной и забалансовой руд, соответственно.



**Рис. 1.** Изменение извлечения урана при выщелачивании блочной руды в пачуковом и перколяционных режимах.



**Рис. 2.** Изменение извлечения урана при выщелачивании забалансовой руды в пачуковом и перколяционных режимах.

**Технологии биовыщелачивания применительно к рудам и отходам производства**

Именно благодаря биовыщелачиванию появляется возможность избирательно извлекать из руд и отходов производства ценные компоненты (медь, уран и др.) или вредные

примеси (наприклад, мышьяк в рудах чорних і кольорових металів). В Росії і Канаді розробляються технології бактеріального вищелачивання мышьяка і відкриття тонковкрапленого золота з упорних золотосодержащих концентратів перед їх ціаніруванням. Це дозволяє виключити дорогостоящий процес обжигу, забруднюючий атмосферу ядовитими сполученнями мышьяка [13].

Проводиться пошук нових видів мікроорганізмів, які здатні функціонувати не тільки в кислої, але і в нейтральній і лужній середовищах. Путем адаптації з використанням різних мутагенних факторів можна отримати культуру з властивостями, необхідними для її промислового застосування. Бактеріальні методи виділення золота з руд базуються на результатах вивчення мікрофлори великих золоторудних родовищ, дозволивших виділити культури домінуючих видів бактерій родів *Bacillus*, *Bacterium*, *Chromobacterium*, а також отримані на основі індукційного мутагенезу *Bac. mesentericus niger*, штами 12 і 129 і грибів *Aspergillus niger* і *A. oryzae*. Одним з найбільш активних по відношенню до золота групою бактерій, по думці авторів [13], є різновид, обраний на золотонесних родовищах і відносячись до виду *Aeromonas*. Растворення Au здійснюється в декількох етапах (прихована фаза, фаза наростання інтенсивності вищелачивання і стабільна фаза). Приблизно через 12 місяців інтенсивність вищелачивання різко знижується; бактерії, активно діючі на золото, руйнуються звичайними мікроорганізмами, живущими в повітрі; на розчинення золота в числі інших факторів велике впливає склад поживної середовища.

В Іркутському державному інституті рідких металів проводилися експерименти по бактеріальному вищелачиванню золота з руд різних родовищ з допомогою мікроорганізмів: *Bacillus*, *Bacterium*, *Chromobacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Sarcina*, *Thiobacillus*. Показано, що в присутності продуктів метаболізму бактерій вищелачивання протікає швидше (в 2-4 рази). Ще більша розчинність золота може бути досягнута шляхом руйнування клітинних оболонок різними реагентами (до 10-18 мг/л) [14].

В Росії, в Туве легко добивається розсипне золото гравітаційними методами, але з року в рік ці родовища вичерпуються. Тому драгметали добивають з глибоко залягаючих і складноскладних рудних тіл біовищелачиванням (БВ). В результаті переробки кобальтових мышьякостержащих руд на комбінаті «Тувакобальт» утворюються шламові продукти з високим вмістом мышьяка (2,2-5,2%), який знаходиться, переважно, в формі малорастворимих сполучення –  $Mg(NH_4)2AsO_4 \cdot nH_2O$  і  $Mg_3(AsO_4) \cdot nH_2O$ . Автори зазначили, що метод БВ на відміну від кучного і підземного вищелачивання є повністю контролюєму і управляєму, не потребує застосування складного обладнання і може здійснюватися, наприклад, в кислотостійких чанах або пачуках різної конструкції. І, головне, цей метод низкотемпературний, без викидів в атмосферу шкідливих відходів, з можливістю створення замкнутого водообігу, т.е. екологічно безпечний [15].

Експеримент по мікробіологічному вищелачиванню заліза, міді і цинку з піритних огарків і гальванічного шламу з використанням суспензії бактерій *Thiobacillus ferrooxidans* провели Костюкова і співавт. [16]. Експеримент тривав 14 діб. Кожен 2 дні визначали вихід металів в розчин. Максимальний вихід заліза при вищелачиванні з піритних огарків становив 78%, міді – 77,3%, цинку – 91,5%. Максимальний вихід заліза при вищелачиванні з гальванічного шламу – 51,5%, міді – 83,4%, цинку – 95%. Ефективність вищелачивання цинку з піритних огарків і гальванічного шламу максимальна  $\approx 90\%$ . Використання при мікробіологічному вищелачиванні бактерій *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thioparus* і *Thiobacillus thiooxidans* дозволило скоротити час експерименту до 7 діб і збільшити ефективність вищелачивання металів на декілька відсотків. Для вивчення токсичності піритних огарків і гальванічного шламу, а також шламу, залишеного після процесу мікробіологічного вищелачивання

авторы провели биотестирование на пшенице: как на семенах, так и на зеленых растениях. Техногенные отходы до процесса выщелачивания являются токсичными, процент всхожести чрезвычайно низкий. Шлам, оставшийся после процесса микробиологического выщелачивания из техногенных отходов, не оказал влияния на всхожесть семян пшеницы.

Как известно, добыча угля – это не только один из наиболее разрушительных видов человеческой деятельности, но и основной источник промышленных отходов. Вот почему наиболее остро стоит вопрос утилизации неуклонно накапливающихся отходов горнодобывающей промышленности. На некоторых шахтах Донбасса добыча 1 тыс. т угля сопровождается выдачей на-гора более 800 т породы. На поверхности при участии кислорода воздуха и некоторых видов бактерий содержащиеся в породе сульфиды окисляются, что является одной из причин самовозгорания терриконов, образования кислотных поверхностных водотоков.

Повышенная миграционная способность многих химических элементов вызывает загрязнение подземных вод, а высокие коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов приводят к загрязнению растительного покрова прилегающих территорий. Затем загрязнение через цепи питания поступает в организм животных и человека, приводя к тяжелым заболеваниям.

### **Возможности использования промышленных отходов в народном хозяйстве**

Принципиально возможно использование промышленных отходов в следующих основных направлениях:

1. Рекультивация ландшафтов с использованием скальных пород, галечника, гравия, песка, доменных шлаков и других видов твердых промышленных отходов.
2. Использование отходов в качестве сырья при производстве строительных материалов.
3. Вторичное использование отходов в качестве исходного сырья.
4. Использование отходов в сельском хозяйстве в качестве удобрения или средства мелиорации.

В данном случае биовыщелачивание позволяет резко снизить себестоимость получения ценных полезных ископаемых и значительно увеличить сырьевые ресурсы за счёт использования бедных, забалансовых и потерянных руд в месторождениях, отвалов из отходов обогащения, пыли, шлаков и др. В перспективе бактериальное выщелачивание открывает возможности создания полностью автоматизированных предприятий по получению металлов из забалансовых и потерянных руд непосредственно из недр Земли, минуя сложные горнообогатительные комплексы.

Группой авторов из Горного института КНЦРАН [15], разработана и экологически обоснована своеобразная технология создания биогеобарьера при комплексной переработке техногенного минерального сырья с максимальным извлечением полезных компонентов.

Технология обеспечивает прекращение ветровой и водной эрозии, снижение интенсивности процессов химического выветривания, повышение устойчивости гидротехнических сооружений (рис. 3).

Сущность технологии заключается в формировании биогенно-гумусо-аккумулятивного слоя при биологической организации минерального субстрата в результате создания сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя, в соответствии с концепцией естественного почвообразования, созданием полимерного покрытия, которое образуется в результате нанесения водных полимерных эмульсий после посева трав (рис. 4).



**Рис. 3.** Создание биогеобарьера на хвостохранилище ОАО «Ковдорский ГОК».



**Рис. 4.** Характеристика полимерного покрытия.

### **Бактериально-химические методы переработки полезных ископаемых на примере Грузии**

Грузия – горная страна и ее минеральные ресурсы отличаются большим разнообразием. Хорошо известное Чиатура-Сачхерское марганцевое месторождение интенсивно эксплуатировалось в течение всего XX столетия. Естественно, что за столь длительный срок эксплуатации месторождения на его территории скопилось большое количество отвалов. Церцвадзе с соавт. [17] впервые в качестве источника микроорганизмов использовали природную органическую массу растительного происхождения – торф с микробиологическим составом, включающим множество различных аэробных и анаэробных форм. В экспериментах на различных образцах авторы представили общую картину эффективности БВ целого ряда ценных элементов из горных пород, руд и отходов (табл. 1, рис. 5).

Золото в трех образцах горных пород обогащается в остатках, причем эффект для проб 314 и 319 очень значителен. Наблюдается обогащение золота почти во всех образцах марганцевой и медной промышленности. Вынос золота заметен в образцах 305, 318 и 312 (75 %).

Скандий обогащается во всех образцах пород, руд и отходов. Процент обогащения от 120 до 263.



Цирконій обогащується в трьох образцях пород і марганцево-рудних образцях. В медних рудах його присутствия не спостерігається. Винос відбувається в двох випадках: образці 305 і 318.

Гафній добре виноситься з всіх пород, максимум виноса 77,2 % характерен для образця 314 - вторичного кварцита. Образці марганцево-рудного виробництва обогащуються з максимумом 303 % (306).

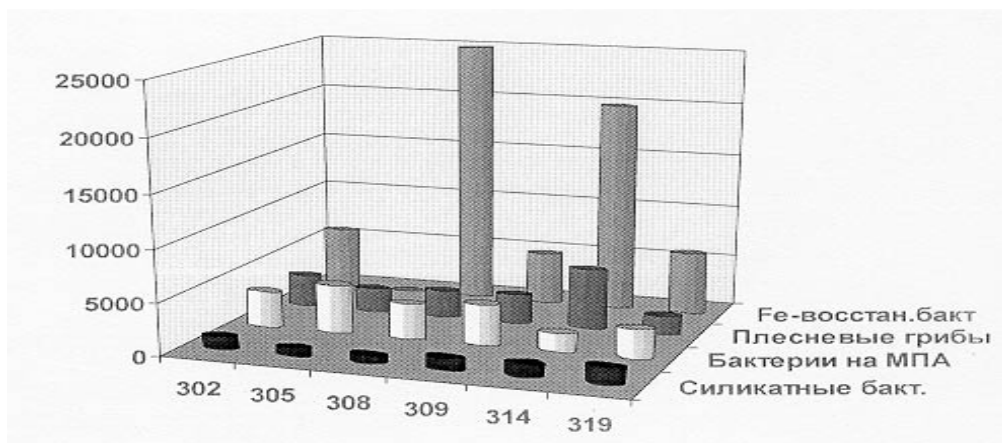
Тантал добре обогащується майже в усіх образцях пород і руд з максимумом 434 % в образці хвостів обогащення марганцевих руд (317). Особливо слід розглянути поведінку радіоактивних металів – урана і торію.

Уран виноситься з всіх образців руд і відходів. З пород він також виноситься і тільки для № 319 дає досить високе обогащення.

**Таблиця 1.** Експериментальні образці з різних районів Грузії

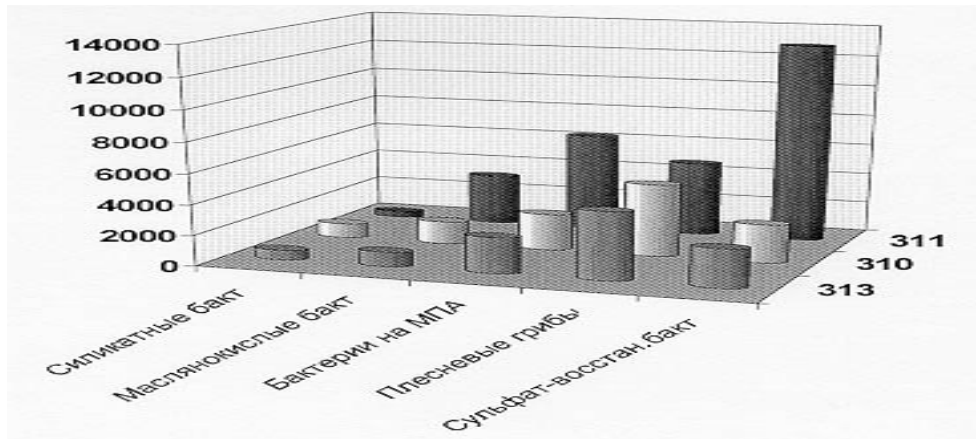
	Назва образця	Номер образця
ПОРОДИ	Граніт	304
	Хлорит-ортизовий кварцевий сієніт-діорит	305
	Спонголітовий пісчаник	302
	Анальцимовий пісчаник	308
	Пісчаний спонголіт	309
	Бурій уголь	315
	Туф	318
	Кварц-порфір	319
	Вторинні кварцити	314
РУДИ	Карбонатна марганцева	303
	Окисна марганцева	307
	Медно-колчеданна	312
	Концентрат медної руди	311
ОТХОДИ	Хвости і відходи обогащення марганцевих руд	306
		316
		317
	Хвости з хвостохранилищ барит-поліметалічних і медно-колчеданних руд	310
		313

Торій обогащується майже в усіх образцях як пород, так і промислових руд і відходів з максимумом 288 %. Тільки в одному випадку помітний незначительний винос (319) (рис. 5).



**Рис.5.** Основні мікроорганізми, що беруть участь в вищелачиванні марганцевих руд і відходів (по осі ординат тис. м.о. на 1 мл розчину, по осі абсцисс номер образця з табл. 1 )





**Рис. 6.** Основные микроорганизмы, участвующие в выщелачивании медных руд и отходов (тыс. на 1 мл).

Состав и концентрации микроорганизмов в растворах, полученных при выщелачивании образцов медного оруднения, во многом отличаются от характеристик марганцево-рудных растворов. Здесь доминируют плесневые грибы, масляно-кислые бактерии и бактерии, редуцирующие серу и железо (рис. 6).

Фактически, из 106 элементов Периодической системы Д.И. Менделеева 60 могут концентрироваться или рассеиваться микроорганизмами. К ним относятся практически все элементы, из которых состоят минералы цветных и редких металлов. Таким образом, основными механизмами бактериального выделения металлов являются: биоокисление, биовосстановление, ацидолиз, биоаккумуляция, биосорбция и комплексообразование. Каждому из этих процессов соответствует своя группа микроорганизмов, способных к определенному типу взаимодействия с теми или иными видами минералов. Эффективность взаимодействия зависит от ряда факторов:

- 1) физико-химические факторы: рН среды, окислительно-восстановительный потенциал, температура, степень аэрации, концентрация кислорода, углекислого газа и т.д.;
- 2) биологические факторы: взаимодействие различных типов микроорганизмов между собой и их концентрации, возраст культур, состав питательной среды, адаптация бактерий и т.д.;
- 3) технологические факторы: минеральный состав перерабатываемой массы, соотношение в ней твердой и жидкой фаз, крупность частиц, гранулометрический состав, способ перемешивания и аэрации и т.д.

При одновременном воздействии различных микроорганизмов на минеральную среду эффект выщелачивания полезных компонентов может меняться в зависимости от перечисленных факторов.

### **Улучшение экологического состояния горнодобывающих районов Украины**

В рамках программы улучшения экологического состояния горнодобывающих регионов Украины ООО «Антрацит» в 2004 году ввело в эксплуатацию обогатительную установку «Снежнянская №1» (г. Снежное Донецкой обл.). К ноябрю 2008-го эта установка переработала 3 млн т горной массы — три породных отвала. Породой из переработанных терриконов заполнили карьер, а территориальная громада получила 18 га новой земли для строительства. В производственном процессе использовалась экологически чистая технология обогащения с помощью ассоциации микроорганизмов, без применения вредных химических веществ. Важно, что специально для этого экологического проекта совместно с нидерландской фирмой Global Carbon B.V. разработана уникальная методика оценки объемов сокращений выбросов парниковых газов применительно к утилизации терриконов Донбасса, впоследствии одобренная международным Комитетом по надзору за проектами СО при Рамочной конвенции ООН по изменению климата. А в октябре 2013 г. компания

ввела в експлуатацію вторую установку, названную «ОУ им. прпп. Антония и Феодосия Киево-Печерских», для утилизации еще трех породных отвалов общим объемом около 6 млн м<sup>3</sup>. Это позволит реабилитировать порядка 25 га земли. Ориентировочная стоимость проекта — 35 млн грн. [11].

Существует и альтернативный способ использования терриконов — разобрать их до основания, применив в промышленности все, без исключения, составляющие породного отвала, т.е. на базе закрывающихся шахт строить мини-заводы по комплексной стопроцентной переработке накопленной породной массы [18]. Проект предусматривает извлечение из терриконов стратегически важных для страны алюминия, германия, скандия, галлия, иттрия и даже циркония. Разделять сырье на фракции планируется методами биометаллургии, а для измельчения горной массы предлагается так называемый электровзрыв. Стоимость сырья, полученного из одного террикона среднего объема, — около \$100 млн. К тому же после ликвидации очередного террикона появляется возможность выгодно реализовать квоты на выбросы парниковых газов (в соответствии с Киотским протоколом). Несмотря на все преимущества метода, проект до сих пор остается лишь на бумаге.

В 2005 году компания Coal Energy в Снежном запустила обогатительную установку «Снежнянская № 1», использующую экологически безопасную технологию. С момента введения в эксплуатацию на установке было переработано четыре отвала объемом 2,9 млн кубических метров углесодержащих пород. Породой из этих терриконов был заполнен отработанный ранее керамзитовый карьер, в результате чего Снежное получило 5,22 га земель, пригодных для строительства, а также дополнительные территории на месте бывших терриконов общей площадью 18,4 га. [5].

Другим перспективным направлением утилизации породных отвалов является применение породы в строительстве. Именно в подстилающее основание будущих автобанов могут быть уложены миллионы тонн этих промотходов в виде так называемого «золо-шлако-породного гравия».

В Украине данное направление утилизации породных отвалов в настоящее время не имеет широкого распространения, несмотря на наличие значительного объема сырья. Одним из наиболее удачных примеров применения, в качестве грунта при возведении земляного полотна, отвальных пород шахтных терриконов со стабилизацией их цементом стала дорога от проспекта Мира до улицы Байдукова в г. Донецке. Генеральным подрядчиком при строительстве дороги стало ООО «Дорожное строительство «Альтком» [18, 19].

### **Заключение**

Проанализирован мировой опыт применения отходов угледобычи и углеобогащения, которые нашли широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. В Украине разработки утилизации породных отвалов находятся на начальном этапе внедрения.

Многолетняя интенсивная отработка большинства эксплуатируемых месторождений привела к истощению сырьевой базы горнообогатительных предприятий. Объем добычи существенно превышает прирост запасов. При этом только 2-8% из добываемого сырья превращается в полезную продукцию, остальное складывается в виде отходов горнодобывающего и обогатительного производств, шламов. Сложившаяся ситуация определяет актуальность поиска экологически целесообразных технологических решений вовлечения отходов в производство и извлечения полезных компонентов из минерального сырья как месторождений, так и отвалов горных пород.

1. Мусич Е.Г., Демихов Ю.Н. Биовыщелачивание металлов из горных пород и отвалов: проблемы и перспективы. //Зб.наук.праць, 2012, в.20, с. 120-124.
2. Волкова Т.П., Демина Е.Ю. Влияние отвалов редкометальных месторождений на окружающую среду.//Зб.наук.праць Донецького Націон. Техн. Ун-ту, 2007, с. 43-53.
3. Костюкова О.В., Рохас Родригес Сара. Исследование процесса микробиологического выщелачивания металлов из техногенных отходов.//Сб. науч. тр. студ. России, в.10.№ 10.2006.

4. First power at china's Zing Ao, Nuclear Engineering international, 16.07.2010.
5. Чайников Б.В., Крючкова Л.А. Практика использования техногенных ресурсов черной и цветной металлургии в России и за рубежом.//Москва, 2004, 30 с.
6. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. (Под ред.. В.С. Белецкого) – Донецк, 2004.
7. Бюллетень МАГАТЭ, Вена, 2000. т. 42, № 3, 68 с.
8. Волкова Т.П., Демина Е.Ю. Влияние отвалов редкометальных месторождений на окружающую среду.//Зб.наук.праць Донецького Націон. Техн. Ун-ту, 2007, с. 43-53.
9. Стась Г.В., Титов Д.Ю. Выделение радона из шахтных подземных вод.// Горный журнал, 2005, №2, с. 31-32.
10. Сайт Technoeuroflux group. ООО «Биолокс ПРО». Рекультивация хвостов добычи урановой руды.
11. Веклов В.А., Митраков О.Е., Зайнитдинова Л.И. и др. Лабораторные исследования по биоокислению сульфидной руды перколяционным способом в шихте с флотоконцентратом.//Геотехнология, 2006, № 3, с. 50-52.
12. Каминский Ю.Д. Создание технологий и оборудования высокоэффективной экологически безопасной переработки минерального сырья и техногенных отходов.//Кызыл:ТувИКОПР СО РАН, 2006
13. Монгуш Г.Р. Применение биотехнологии для переработки месторождений полезных ископаемых Тувы.//НИТ (Новые исследования Тувы), «1, 2010.
14. Салихов В.А. Перспективы извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области.//Экономика, 2009, с. 163-168.
15. Костюкова О.В., Рохас Родригес Сара. Исследование процесса микробиологического выщелачивания металлов из техногенных отходов.//Сб. науч. тр. студ. России, 10.10.2006.
16. Церцвадзе Л.А., Дзадзалия Т.Д., Петриашвили Ш.Т. и др. Разработка методики бактериального выщелачивания металлов из «бедных» руд, пород и промышленных отходов с использованием нейтронного активационного анализа.//г. Дубна Моск. обл., Ин-т ядер.исслед., 2001, 20 с.
17. Лазаренко Л. Вторая жизнь терриконов.//Укр. технич. газета, от 26.11.12.
18. Фомина О. Возобновляемые источники. Разумный подход.//Ж-л «Энергетика Украины», № 11, 2010, с.18-38

**Мусич О.Г., Деміхов Ю.М. УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ УРАНО- ТА ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ МЕТОДАМИ БІОГЕОМЕТАЛЛУРГІЇ**

*Розглянута проблема переробки «хвостів» і відвалів гірничо-збагачувальних і металургійних виробництв методами біогеометалургії. Обґрунтована можливість управління відходами та вилучення рідких і рідкоземельних металів з відвальних уранових порід.*

**Musych O.G., Demihov Yu.M. UTILIZATION OF URANIUM AND MINERAL RESOURCE INDUSTRY WASTE BY THE METHODS OF BIOGEOMETALLURGY**

*The problem of processing of «tails» and dumps of the ore-dressing and metallurgical productions is considered by the methods of biogeometallurgy. Possibility of management and extraction of rare and rare-earth metals wastes from the dumps is grounded.*