



Экономический и Социальный

Distr.
GENERAL

E/C.7/1998/3
2 February 1998
RUSSIAN
ORIGINAL: ENGLISH

КОМИТЕТ ПО ПРИРОДНЫМ РЕСУРСАМ

Четвертая сессия

10-19 марта 1998 года

Пункт 6 предварительной повестки дня*

ВОПРОСЫ ОХРАНЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СВЯЗИ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА

Современные экологичные технологии утилизации и переработки отходов горнодобывающей промышленности

Доклад Генерального секретаря

Резюме

Настоящий доклад подготовлен в соответствии с решением 1996/306 Экономического и Социального Совета. В докладе рассматриваются вопросы утилизации и переработки отходов горнодобывающих предприятий в более широком контексте активизации внедрения технологий сокращения объема отходов в источнике их образования. Основное внимание уделяется твердым отходам, образующимся в процессе добычи и обогащения руд обычных и благородных металлов, поскольку именно с этими отходами связаны некоторые из наиболее трудно устранимых и устойчивых факторов неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Вместе с тем там, где это уместно, приводятся также примеры из практики других подотраслей горнодобывающей промышленности. Хотя главное место в докладе отведено отходам горнодобывающей промышленности, некоторые из рассматриваемых технологий и методов могут применяться для борьбы с загрязнением почв и использования металлосодержащих твердых отходов.

* E/C.7/1998/1.

СОДЕРЖАНИЕ

		<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
I.	ВВЕДЕНИЕ	1	4
II.	ПРОИЗВОДСТВО ОТХОДОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ	2 - 8	4
III.	УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА	9 - 13	6
IV.	ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ	14 - 16	6
V.	ДОБЫЧА (ВЫЕМКА) ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТЕРИ	17 - 18	7
VI.	ОБРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОБРАЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	19 - 23	8
VII.	МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТХОДОВ	24 - 31	9
	A. Гидрометаллургия	25 - 29	9
	B. Пирометаллургия	30 - 31	11
VIII.	ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА	32 - 35	11
	A. Проблемы в области использования отходов горнорудного производства	32	11
	B. Использование отходов непосредственно на месте	33 - 34	12
	C. Использование отходов вне горнорудных объектов	35	12
IX.	ПОВТОРНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	36 - 40	13
	A. Повторная обработка отходов в целях извлечения кислотосодержащих сульфидов	36 - 38	13
	B. Повторная переработка с помощью биовыщелачивания	39	14
	C. Заменители цианида в процессе извлечения золота	40	14

СОДЕРЖАНИЕ (продолжение)

	<u>Пункты</u>	<u>Стр.</u>
Х. ПОДХОДЫ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЕМА ОТХОДОВ В ИСТОЧНИКЕ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ	41 - 48	15
А. Сокращение объема отходов при разработке месторождений, обогащении минерального сырья и металлургическом извлечении	41 - 45	15
В. От управления ликвидацией отходов к предотвращению образования отходов и наоборот	46 - 48	16
ХІ. ВЫВОДЫ: ОПТИМИЗАЦИЯ СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЕМА ОТХОДОВ, ИХ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	49 - 50	17
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ		19

I. ВВЕДЕНИЕ

1. Наличие больших запасов полезных ископаемых в сочетании с рыночными условиями, которые в основном находятся вне контроля металлургических предприятий, привело к снижению темпов технологической модернизации этой отрасли. Однако сегодня положение меняется: после периода незначительных технологических сдвигов работа над новыми технологиями в горнодобывающей промышленности активизировалась, толчком к чему послужили обеспокоенность общественности негативным воздействием на окружающую среду и разработка экологических норм, обязывающих фирмы смягчать или предотвращать такое воздействие. Наблюдающееся в настоящее время преобладание концепции "удаления отходов" над "предупреждением загрязнения" является, пожалуй, отражением наблюдающейся тенденции к закрытию предприятий, суть которой сводится к тому, что доступных гражданскому строительству методов устранения последствий достаточно для надлежащего закрытия того или иного участка и для того, чтобы избежать возможной ответственности в будущем. Однако, хотя 20 лет назад так, возможно, и было, с тех пор технология, законодательство и ожидания заинтересованных сторон изменились и если существует общая нить, связующая нынешние подходы к удалению отходов, то это - возможность будущего разбирательства и ответственности, связанных с мерами, которые могут рассматриваться как кратковременные (но относительно дешевые) способы решения долговременных экологических проблем.

II. ПРОИЗВОДСТВО ОТХОДОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ

2. Металлы и другие минеральные ресурсы редко встречаются в достаточно чистом состоянии для реализации их в том виде, в каком они были добыты. Часто металлы встречаются в форме химических соединений с кислородом (в виде оксидов), серой (в виде сульфидов) и другими элементами (в виде хлоридов, карбонатов, арсенатов, фосфатов и т.д.). Неметаллические минеральные ресурсы (уголь, полезные ископаемые промышленного значения) в свободном состоянии также обычно содержат физические включения или примеси.

3. Хотя любая отдельно взятая операция в цикле добывающей деятельности способна давать экологический эффект или причинять экологический ущерб, такая возможность обычно реализуется вследствие запланированного (нормативного) или аварийного (ненормативного) выброса твердых, жидких или газообразных отходов. Характер этих выбросов, особенности принимающей их среды и расстояние, на которое переносятся эти выбросы, являются важнейшими факторами, определяющими масштабы их воздействия или последствий. Ценности и предпочтения общества также играют существенную роль в оценке конкретных выбросов различными заинтересованными группами: таким образом, эта более субъективная дополнительная составляющая параметров выброса и принимающей среды, поддающихся количественной и иной оценке, частично определяет экологический "след" той или иной операции для конкретного места.

4. Все чаще происходит так, что с учетом более четкого представления о потенциальном воздействии интересы охраны окружающей среды перевешивают соображения в пользу разработки конкретных месторождений (Hodges, 1995). Отрасли в целом совместно с как можно более широким кругом заинтересованных сторон необходимо стремиться к максимальному повышению эффективности контроля над процессом добычи и управления им в течение всего цикла деятельности. Это включает повышение степени эффективности использования ресурсов.

5. Главным источником твердых отходов от добычи и последующего обогащения полезных ископаемых являются "жильные минералы" (не представляющие ценности или малоценные

минералы, сопутствующие добываемым минералам или минералам промышленного значения). В зависимости от того, на каком этапе происходит вывод жильных минералов из процесса, они могут удаляться в их первозданном виде (например, в виде пустой породы), в виде отбросов (после обогащения), в виде шлака (после плавления) или в виде других отходов (пыли, бурового раствора, отработанного в результате выщелачивания, отработанной руды и т.д.). В этих различных видах отходов также могут содержаться значительные количества добываемых минералов или металлов по причине низкой эффективности обогащательного процесса и ограниченности технологических возможностей или вследствие действия минералогических факторов.

6. Существует также зависимость между сортностью (содержанием металлов в конечном или промежуточном продукте) и выходом полезного компонента (процентом товарной продукции, извлекаемой из общего объема полезных металлов, содержащихся в сырье, поступающем на обогащательную фабрику). Можно добиться весьма высокой сортности путем отбраковывания значительной доли исходного материала (т.е. за счет снижения выхода) или весьма высокого выхода путем чрезмерного разбавления концентратов материалом более низкой сортности. Однако ни та, ни другая крайность обычно не являются оптимальным с экономической точки зрения решением. Проще говоря, оно определяется путем сопоставления прибыли от дополнительного извлечения металлов и соответствующих капитальных и оперативных затрат в более широком контексте технической целесообразности. Определенная часть добываемых металлов неизменно попадет в отходы вместе с жильными минералами.

7. При добыче неметаллических полезных ископаемых жильные минералы, как правило, являются главным компонентом рудного тела. Наиболее очевидным проявлением этого является добыча золота, при которой концентрация полезного материала настолько мала - обычно пять и меньше граммов на тонну руды, - в результате чего вся добытая руда идет в отходы в том или ином виде, если в ней не присутствуют также и другие полезные компоненты, такие, как обычные металлы. В других минеральных ресурсах содержание жильного минерала относительно добываемого минерала может быть меньшим, однако удаление связанных с жильными минералами отходов обычно представляет серьезную проблему и на многих горнодобывающих предприятиях удаление отходов занимает такое же место, как и добыча полезных ископаемых.

8. Очевидно, что процесс удаления отходов, связанных с горнодобывающей деятельностью, представляет собой значительный источник потенциально вредных для окружающей среды элементов. Однако отходы производства не всегда причиняют ущерб окружающей среде; здесь возможно существование целого ряда смягчающих факторов, из которых одни связаны с самим процессом, например, химические и физические свойства отходов, а другие - с условиями внешней среды, такими, как климат, топографическая характеристика местности или особенности экосистемы.

III. УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА

9. Утилизация и переработка - два примера из целого ряда технологий "очистки в месте сброса" или "устранения последствий", применяемых для решения экологических проблем, связанных с производством отходов в горнодобывающей промышленности. Традиционно в горнодобывающей промышленности преобладали низкотехнологичные методы очистки в конце производственного цикла, однако в последнее время на фоне расширенного применения технологий сокращения объема отходов в источнике их образования способы решения этих проблем становятся все более сложными.

10. В "иерархии" методов ликвидации отходов утилизация и переработка менее желательны, чем сокращение объема отходов в источнике их образования (предотвращение загрязнения), но представляют собой более оптимальный экологичный вариант, чем обработка или удаление (Allen and Rosselot, 1997).

11. Утилизация обычно предполагает использование отходов в необработанном виде (хотя физическая форма материала может быть изменена); применительно к отходам горнодобывающей промышленности утилизация может быть более целесообразной после переработки с целью удаления или уменьшения содержания экологически значимых загрязнителей и добываемых металлов. Использованию, особенно за пределами участка, подлежат только отходы, отличающиеся достаточной "чистотой", поскольку главной проблемой при утилизации отходов является возможность распространения экологически вредных загрязнителей на гораздо более обширную территорию. Как правило, по мере увеличения степени загрязнения уменьшаются возможности утилизации. С учетом этих ограничивающих факторов утилизация может быть в равной степени привлекательным вариантом использования отходов как ныне действующих предприятий, так и ранее произведенных или оставленных отходов.

12. Можно сказать, что противоположное справедливо в отношении переработки в том смысле, что с повышением содержания добываемого металла может возрасти потенциал переработки. Концепция переработки для извлечения одного или более полезных продуктов (металлов, солей металлов, минералов) применима в большей степени к ранее произведенным отходам горнодобывающей промышленности. Это объясняется двумя главными причинами: качество руды в прошлом в целом было выше, чем сегодня, а технология была менее эффективной.

13. Переработка отнюдь не всегда обеспечивает улучшение состояния окружающей среды, например в случаях, когда в остаточных отходах (после переработки) сохраняется высокое содержание других загрязнителей, таких, как сопутствующие минералы. Однако во многих нормативных системах переработка может быть увязана с безопасным удалением конечных отходов (например, на соответствующим образом оснащенном объекте для удаления отходов), если это не предусматривалось до начала переработки.

VI. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ

14. Существует много "положительных" факторов, стимулирующих применение новаторских подходов к улучшению состояния загрязненных горнодобывающих объектов, такие, как утилизация и переработка отходов. Существует также немало препятствий ("отрицательных" факторов), тормозящих активное применение таких подходов. К ключевым положительным факторам относятся технический прогресс; повышение цен на металлы; нехватка сырья; изменение стратегических видов использования некоторых сырьевых товаров; повышение коэффициента использования ресурсов; "Повестка дня на XXI век"; устойчивость; необходимость разрыва связи между экономическим ростом и воздействием на окружающую среду; принцип материальной ответственности источника загрязнения; юридически закрепленные обязательства/ответственность и требование о гарантиях; и другие разнообразные инициативы заинтересованных сторон.

15. Мнение общественности о том, что современные подходы могут оказаться ни оптимальными, ни экологически приемлемыми в среднесрочной и долгосрочной перспективе, также может сыграть существенную роль, хотя влияние этого фактора, вероятно, менее ощутимо в горнодобывающей промышленности, чем в некоторых других отраслях промышленности. Тем не менее, на местном и региональном уровнях он по-прежнему может играть важную роль.

16. К числу других факторов относятся нормативная база, которая стимулирует новаторство в технологии и ресурсопользовании, и инициативность промышленных кругов, направленная на разработку более действенных и более рентабельных способов решения нынешних и будущих экологических проблем (Kovalick, 1993; Ayen, 1994).

V. ДОБЫЧА (ВЫЕМКА) ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТЕРИ

17. В широком плане существуют три метода добычи полезных ископаемых: наземная, подземная и *in situ* (добыча растворением). Масштабы применения последнего метода являются несколько ограниченными, хотя иногда он используется для добычи остаточных пород по мере снижения степени чистоты добываемых ископаемых при наземной и подземной выработке. Наземная добыча, как правило, производится открытым способом (выемка бедной и содержащей драгоценные металлы руды) либо методом открытой разработки твердых пород (добыча угля). Независимо от используемого метода разработка всегда сопровождается тем или иным видом обработки. При добыче относительно чистых или однородных материалов обработка может ограничиваться дроблением и сортировкой (выемка некоторых видов природного цеолита, строительного камня) либо физической промывкой (добыча некоторых видов угля). Такие простые методы обработки возможны лишь тогда, когда искомая порода составляет большую часть добываемого материала. В этих случаях основные выбросы в окружающую среду, экологические последствия и воздействие связаны главным образом с самой разработкой, а не с последующей обработкой полезных ископаемых.

18. Двумя основными видами выброса в результате наземной и подземной разработки, связанными с повторной обработкой и утилизацией, являются минеральные отходы (покрывающая и пустая порода) и загрязненные воды (кислотные, металлосодержащие выбросы с объектов по удалению отходов и мест проведения работ). Последний вид также характерен для разработки ископаемых *in situ*, хотя загрязнению воды и окружающей среды в целом могут также способствовать добавленные химические вещества, с помощью которых осуществляется процесс выщелачивания металлов.

VI. ОБРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ОБРАЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

19. Обработка полезных ископаемых определяется как физическая обработка минерального сырья. Она не приводит к каким-либо химическим изменениям минеральных компонентов руды, а является методом достижения физического разделения (и концентрации) различных минеральных образований, например, посредством отделения искоемых минералов от жильных минералов или одного полезного ископаемого от другого (Hayes, 1993). При добыче неметаллических полезных ископаемых обработка минерального сырья может приводить к получению конечного продукта, однако при добыче металлов она является одним из промежуточных этапов, поскольку она не влияет на химическое взаимодействие металла с кислородом, серой и т.п. Обработка полезных ископаемых обычно является промежуточным этапом между добычей и металлургическим извлечением, хотя есть и исключения, например, кучное выщелачивание и выщелачивание из отвалов необработанной руды. Продукты обработки полезных ископаемых (концентраты) становятся сырьем для металлургического извлечения (гидрометаллургических или пирометаллургических процессов, см. пункты 24-31 ниже).

20. Методы обработки минерального сырья можно подразделить на две группы: измельчение и разделение различных пород. Дробление и размалывание (в сочетании с сортировкой) используются для отделения имеющих экономическую ценность полезных ископаемых от

ископаемых, не имеющих такой ценности, в целях подготовки сырья к использованию в последующих процессах, в рамках которых могут быть получены отдельные продукты обработки минерального сырья. Тем не менее перемалывание обычно не позволяет получить полностью очищенный продукт, и некоторые элементы могут представлять собой сочетание двух или более минералов с характерными для этого сочетания физическими или химическими свойствами. Это может приводить к потере искомым ископаемых, которые попадают в отходы вместе с жильными минералами, или к разубоживанию минерального концентрата жильными минералами.

21. Измельчение производится с использованием дробильных установок (щековых и конусных дробилок) и "мельниц" (прокатных, шаровых, молотковых и ударных мельниц). Дробление применяется для измельчения крупной руды до массы, состоящей из элементов диаметром не более 25 миллиметров. Этот материал можно после этого направлять на мельницы или непосредственно для дальнейшей обработки, если ценное ископаемое является достаточно чистым. Перемалывание применяется для дальнейшего уменьшения размеров частиц до примерно 10 микронов¹. В отличие от дробления, которому подвергается руда, поступившая из шахты, перемалывание почти всегда производится с добавлением воды, а порода после перемалывания выходит в виде "шлама" (взвеси мелких частиц в воде).

22. Обогащение минералов достигается путем задействования различных свойств ископаемых, такими, как размеры частиц, плотность частиц, магнитные, электрические или химические свойства поверхности (флотационный способ).

23. Выбор метода обогащения зависит от ряда характерных для данного месторождения факторов, включая масштабы работ, размер частиц, при котором достаточно эффективно может производиться обогащение минералов, минералогические характеристики, общую конфигурацию цепи переработки (от добычи до металлургического извлечения) и т.п. В конечном счете все процессы приводят к производству "концентрата" (богатого искомым минералом или минералами), "хвостов" (содержащих главным образом имеющие малую или нулевую экономическую ценность минералы) и "промпродуктов" (частиц, состоящих из не полностью отделенных друг от друга искомым и жильных минералов). Промпродукты, как правило, подвергаются повторной перемолке или альтернативному процессу в целях обогащения или извлечения иным способом полезного ископаемого, а "хвосты" удаляются с отходами. В числе различных методов отделения флотационный метод в настоящее время является наиболее распространенным способом производства минеральных концентратов, особенно из серных руд, и является основным источником образования "хвостов". Другие производственные операции по обработке минералов представляют лишь незначительный интерес с точки зрения их потенциального воздействия на окружающую среду, поскольку они обычно осуществляются в закрытых производственных цепях, так как после многих производственных операций 100 процентов выхода поступает для обработки на следующем этапе. Флотационный процесс часто является последним этапом производственного цикла, на котором отходы ("хвосты") отделяются и выбрасываются в окружающую среду. "Хвосты", образующиеся в результате флотационного процесса, как правило, состоят из мелких частиц жильных минералов, содержащих искомые минералы, доля которых варьируется в зависимости от экономичности и эффективности технологического процесса и ограничений минералогического характера.

VII. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

24. Металлургическое извлечение можно подразделить на две основные дисциплины: "гидрометаллургию" и "пирометаллургию". Третья дисциплина, "электрометаллургия", в настоящем документе углубленно не рассматривается, поскольку в горнодобывающем секторе ее

применение носит более ограниченный характер (главным образом, в связи с производством алюминия и некоторых видов цинка).

А. Гидрометаллургия

25. Гидрометаллургические методы обработки руды широко используются при производстве золота, урана, меди и алюминия и реже - при производстве цинка и никеля. В частности, руды, содержащие окислы (около 10 процентов руд цветных металлов), обрабатываются методом выщелачивания. Исходная руда обрабатывается с учетом потребностей последующих технологических процессов, после чего для извлечения ценных металлов в форме разжиженного металлизированного раствора используется щелочь. После этого раствор подвергается обработке в целях извлечения металла, которая может включать такие процессы, как осаждение, экстрагирование растворителем или электровыделение.

26. Наиболее распространенные щелочные реагенты и растворители включают:

а) "кислоты" (хлористый водород, серная кислота) для окисленных содержащих медь минералов, таких, как азурит, малахит, тенурит и хризоколла, а также "оксиданты" (сернокислородное железо) для содержащих медь минералов с меньшей степенью окисления, таких, как халькоцит, борнит, ковеллин и медный колчедан;

б) "щелочи" и реагенты "на аммиачной основе" (едкий натр/гидроокись аммония или карбонат натрия/аммония) для определенных содержащих медь минералов;

с) выщелачивание "с помощью бактерий" - применение бактерий в целях экономичного получения кислот и оксидантов из сульфидных минералов;

д) "цианид" (в виде растворов цианистого натрия или цианистого калия) для выделения золота;

е) "ртуть" в качестве амальгамирующего реагента для очистки золота широко используется при мелкомасштабных горных работах, в основном в развивающихся странах.

27. Методы, используемые для применения вышеупомянутых выщелачивателей, включают:

а) "отвальное выщелачивание" материала на облицованные поверхности. Термин обозначает практику выщелачивания материалов, которые первоначально отваливались в качестве пустой породы; тем не менее этот метод также применяется в отношении несортированной, низкосортной сульфидной породы или смешанной серосодержащей и окислосодержащей породы, помещаемой на неподготовленную поверхность специально для выщелачивания;

б) "кучное выщелачивание" низкосортной руды, которая помещается на специально подготовленную облицованную прокладку, изготовленную с использованием синтетических материалов, асфальта или спрессованной глины. При кучном выщелачивании руда часто предварительно измельчается (дроблением) до помещения на прокладку;

с) "выщелачивание в специальном аппарате" - высокопродуктивный альтернативный метод, заменяющий кучное и отвальное выщелачивание, при котором выщелачивание производится в системе чанов или баков с концентрированными выщелачивающими растворами куда закладываются несортированная руда/минеральные концентраты.

28. Процесс извлечения металлов варьируется в зависимости от самого металла, однако часто он связан с преференционным диффузным насыщением (медь или золото) или экстрагированием растворителем/электровыделением (медь).

29. Отходы, образующиеся в ходе гидрометаллургических процессов, имеющие важное значение с точки зрения повторной обработки и утилизации, включают:

a) "отработанную руду"/"истощенный концентрат", содержащие оставшиеся после процесса химические вещества, искомые и неискомые минералы/металлы;

b) "шлам", образующийся после экстрагирования растворителем/электровыделения и содержащий материалы, которые могут накапливаться в баках для экстрагирования растворителем/электровыделением (в форме частиц, эмульсий органического и водного этапов);

c) "отработанный электролит", образующийся в ходе электровыделения и содержащий растворимые примеси;

d) "отходы, зараженные ртутью", образующиеся в результате применения ртути при амальгамировании.

В. Пирометаллургия

30. Пирометаллургические процессы в настоящее время являются основными процессами, с помощью которых медь, цинк, никель и свинец извлекаются из сульфидов. Процесс обычно включает обогащение (как правило, флотацию) для получения концентрата, после чего следует плавка, в результате которой кристаллическая структура минералов разрушается под воздействием высокотемпературного окисления. Для извлечения каждого металла или комплекса металлов используются отличающиеся друг от друга процессы. Например, в результате плавки меди образуется штейн (содержащий до 40 процентов металла), который в расплавленной форме конвертируется и сепарируется в "пузырь" (чистый примерно на 97-99 процентов) и железистосиликатный шлак, дальнейшая обработка которого может быть достаточно экономически выгодной. Поскольку "пузырьковый" металл имеет слишком много примесей, для того чтобы его можно было применять в большинстве промышленных процессов, необходима его очистка. Она обычно осуществляется с помощью термальных процессов (с использованием отражательных печей), если шифта содержит незначительное количество побочных продуктов, или же с помощью электролиза, если необходимо извлечь также какие-либо другие металлы. Образующиеся в результате этого процесса катоды, которые обычно чисты на 99,8-99,9 процента, продаются непосредственно производителям полуфабрикатов или переплавляются и отливаются в специальных формах (вайербарсы). Свинец же производится с помощью процесса, основанного на агломерации, снижении уровня шлака в доменных печах и пиро- или гидрометаллургической очистке слитков.

31. Пирометаллургические процессы приводят к образованию пяти потенциальных загрязнителей окружающей среды: отходящего газа, побочного газа, сточных вод, колошниковой пыли и шлаков, причем два последних имеют наибольшую значимость в плане повторной обработки и использования.

VIII. ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

/...

А. Проблемы в области использования отходов горнорудного производства

32. Имеется относительно мало примеров использования отходов горнорудного производства в секторе добычи и переработки черных и драгоценных металлов. Это объясняется двумя главными причинами. Во-первых, одна из проблем в этой области обусловлена присутствием минералов (металлов), которые потенциально могут загрязнять окружающую среду. Использование отходов в этих случаях может рассматриваться как один из путей распространения загрязнителей и одна из причин заражения и загрязнения окружающей среды в более широком плане. Вторая проблема заключается в том, что стоимость вывоза таких отходов, даже если они "свободны" от загрязнителей, является высокой. Расходы на перевозку таких отходов из относительно ограниченного района в большинстве случаев, как правило, намного превосходят рыночную стоимость самих отходов. Еще одной проблемой является относительно низкая стоимость первичных материалов, конкуренцию которым составляют такие отходы (первичные и вторичные заполнители, другие заполнители и т.д.).

В. Использование отходов непосредственно на месте

33. Первую и вторую проблемы, указанные выше, можно в целом преодолеть путем разработки методов использования отходов на местах. Это уже делается в широких масштабах в большинстве горнорудных районов, и отходы используются в таких областях, как сооружение дамб, строительство и эксплуатация дорог, а также в геотехнической области. Однако потенциально отходы на местах можно было бы использовать с наибольшей пользой для обратной засыпки, особенно подземных шахт. Тем не менее и здесь возникает проблема загрязнения окружающей среды и возможного рассеивания этих отходов после того, как им будет найдено применение, и обычно используемые для обратной засыпки отходы заливаются портландцементом, золой измельченного топлива или другими стабилизирующими агентами (растворимыми силикатами) как для улучшения их физических характеристик, так и для сведения к минимуму потенциального выщелачивания металлов в грунтовые воды. Обратная засыпка отходов широко применяется в ходе работ по добыче в неглубоких подземных шахтах (добыча угля, известняка).

34. В число менее эффективных и, вероятно, в большей степени зависящих от специфики каждого конкретного места методов использования отходов могут входить обработка их водой, как, например, в тех случаях, когда мелко измельченная пустая порода используется в качестве адсорбционного материала для флотационных коллекторов (Хайсканен и Яо, 1992 год), и использование пирита (извлеченного с помощью вторичной переработки; см. раздел IX ниже) для удаления путем адсорбции растворенных арсенидов (Зубулис и другие, 1993 год).

С. Использование отходов вне горнорудных объектов

35. Тойвола и Тойвола (1997 год) получили патент на метод производства строительных материалов из смеси непрофильтрованных термопластических отходов и минерального заполнителя. К числу сфер их возможного применения относятся изготовление плит для тротуаров, кирпичей или строительных плит, напоминающих бетонные. Альхаро (1991 год) на основе результатов исследования, которое финансировалось "Корпорацион Насиональ дель Кобре де Чили", Чили, сообщил об использовании необработанных сточных вод для целей сельскохозяйственного производства. Необработанные сточные воды с шахты по добыче меди и молибдена в Эль-Теньенте использовались для орошения сельскохозяйственных угодий и в качестве питьевой воды для скота. Были определены и посажены сельскохозяйственные культуры, толерантные к более высоким уровням меди, молибдена, марганца и сульфатов (и лучше приспособленные к местной почве и воде). Содержание металлов в съедобных частях сельскохозяйственных культур было ограниченным и не превышало допустимых уровней. Тем не менее в силу возможной

аккумуляции металлов в почве и грунтовых водах применение этого способа, вероятно, будет весьма ограниченным. К числу других описанных в литературе методов использования отходов относятся применение больших объемов таконитовых отходов обогащения для строительства плотин, дамб и шоссейных дорог в Соединенных Штатах Америки и применение их в малых объемах для производства керамических изделий, кирпича и строительной плитки, а также использование отходов производства черных и цветных металлов для изготовления силикатного кирпича, пенобетона, строительного пенопласта, кирпича полусухого прессования и стекла (Митчелл, 1990 год).

IX. ПОВТОРНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

A. Повторная обработка отходов в целях извлечения кислотосодержащих сульфидов

36. Разделение отходов на более и менее богатые сульфидами фракции дает возможность увеличить число вариантов использования отходов в рамках нынешних производственных операций и решать экологические проблемы в тех производственных районах, где имеет место выделение в окружающую среду кислот из смешанных отходов. Теоретически в обоих случаях незначительные объемы богатых сульфидами фракций можно удалять на высокотехнологичных предприятиях по удалению отходов или удалять их вместе с твердыми отходами, в то время как большие объемы бедных сульфидами фракций можно удалять как инертные отходы или использовать для тех или иных целей в районах производства или за их пределами.

37. В одной из недавних работ Хамбер (1995 год) проанализировал взаимосвязь между извлечением металлов из сульфидов (пирита и пирротина), выбросом в окружающую среду кислот и эксплуатационными/капитальными затратами, связанными с повторной переработкой. Было изучено несколько методов обогащения в целях определения их эффективности с точки зрения отделения сульфидов, выделяющих кислоты, от отходов обогащения и полученных бедных сульфидами фракций и малых объемов богатых сульфидами фракций. В число изученных методов входили гравитационное разделение (центробежный концентратор, качающийся концентрационный стол, спиральный концентратор), флотация, магнитная сепарация и циклонное разделение. Эти методы были испытаны на образцах из трех шахт. Концентраты сульфида были также изучены с точки зрения их коммерческой ценности². В каждом из этих трех образцов минералы в сульфидах были хорошо очищены и присутствовали в достаточно низкой концентрации для получения (теоретически) малого объема сульфидного концентрата. Ни один из опробованных гравитационных методов не привел к получению нереактивных отходов обогащения (не имеющих чистого потенциала для выработки кислоты). Флотация была более эффективной, хотя в определенной степени она, как представляется, отражала простую природу минералов и распределение сульфидов в виде мельчайших частиц. Повторная обработка с помощью флотации уменьшала не только способность к выработке кислоты в бедных сульфидами фракциях, но и концентрацию других экологически значимых металлов, таких, как кадмий, медь и цинк.

38. На основе результатов тестов, которые позволяли получать отходы с наименьшим потенциалом в плане выработки кислоты, были исчислены эксплуатационные затраты и капитальные издержки. По оценкам, общая сумма капитальных издержек колебалась от 130 000 долл. США до 1 275 000 долл. США. Эксплуатационные затраты, по оценкам, колебались от 0,50 долл. США до 1,35 долл. США на тонну. Тем не менее в работе не говорится о нынешних эксплуатационных или капитальных затратах, и эти дополнительные расходы нельзя в полной мере учесть в данном контексте. Однако имеются другие примеры применения в масштабах целого предприятия этого подхода, хотя они отмечаются непосредственно на горнорудных предприятиях, а не в контексте переработки более старых отходов. Компания "Магма

коппер компани" производит изделия из пирита на своем предприятии "Супириор майн" путем пропуска отходов обогащения, полученных в процессе производства меди, через дополнительную флотацию, в результате чего генерируются менее реактивные отходы обогащения, а также практически чистый мелкозернистый пирит и крупнозернистый пиритовый концентрат (45-47 процентов железа, 48-50 процентов серы) (Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки, 1994a). В 1994 году ежемесячно продавалось около 500 тонн изделий из пирита, что составляет 90-95 процентов рынка Соединенных Штатов (Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки, 1994b). Однако в этом случае идущие на продажу изделия из пирита были получены благодаря тому, что руда а) содержала до 25 процентов пирита и б) имела мало примесей. Эти факторы могут обуславливать относительную уникальность этих залежей, и поэтому применение данного подхода на других предприятиях может быть более трудным делом, чем могло бы показаться на первый взгляд. Как отмечалось выше, в основе производства пирита лежали не сугубо экологические соображения (хотя компания действительно признала те выгоды, которые несет с собой сокращение количества вымываемой из пустой породы кислоты), а спрос на этот продукт, поскольку, когда такой спрос отсутствовал, извлечение пирита не производилось. Это свидетельствует о том, как трудно иметь дело с минералами, такими, как пирит, которые имеют незначительную рыночную ценность или не имеют таковой и практически отсутствуют на рынке.

В. Повторная переработка с помощью биовыщелачивания

39. Выщелачивание с помощью бактерий применяется для извлечения золота, которое невозможно выделить с помощью высокотемпературных методов из-за того, что оно в связанном виде находится в кристаллах вместе с пиритом, который бактерии могут легко растворять. Развитие биотехнологии наряду с преимуществами экологического и экономического характера, которые технологии биовыщелачивания, как представляется, имеют по сравнению с другими крупномасштабными, более капиталоемкими и в большей степени загрязняющими окружающей среду традиционными процессами, возможно, приведет к серьезным изменениям в структуре горнорудной промышленности. В марте 1994 года компания "Ньюмонт гоулд" сообщила о том, что полевые испытания подтвердили экономическую целесообразность одного из запатентованных процессов биовыщелачивания в целях получения золота из мелкозернистого сульфида, который ранее рассматривался как руда, не имеющая экономической ценности (Брюис, 1995 год). Эта система основана на использовании *Thiobacillus ferrooxidans* и *Leptospirillum ferrooxidans* для окисления золотосодержащих сульфидов на подушке для кучного выщелачивания с последующим применением метода выщелачивания с помощью цианида или тиосульфата аммония для извлечения золота. Хотя такая реакция протекает медленно, данный подход является экономически выгодным в силу того, что используемые биологические системы не требуют больших затрат. На сегодняшний день метод биовыщелачивания применяется для получения на коммерческой основе золота, урана, меди и никеля; предлагается также применять его для кучного выщелачивания низкокачественных цинкосодержащих руд.

С. Заменители цианида в процессе извлечения золота

40. Хотя цианирование является основным методом, используемым для извлечения золота на предприятиях формального сектора (на его долю приходится 100 процентов производства золота на предприятиях этого сектора в Южной Африке) (Адамс, 1997 год), цианид не является единственным выщелачивателем, который потенциально можно использовать для извлечения золота. К другим потенциальным заменителям цианида относятся тиоцианат (Адамс, 1996 год) и растворители на основе галогена, такие, как гипохлорит натрия, йод и бром (Рамадорай, 1994 год). Ни одно из этих веществ не может рассматриваться в качестве радикальной замены цианида, однако они могут быть полезны при обработке конкретных видов руды или

золотосодержащих отходов, для обработки которых на момент их удаления не имеется каких-либо экономически выгодных или технически рациональных методов. Имеются данные о том, что применительно к тем рудам, которые хорошо поддаются обработке с помощью термальных методов, растворители на основе галогена не являются более эффективными или экономически выгодными, чем цианид. Такие растворители на основе галогена скорее могут найти более широкое применение при обработке тугоплавких руд и отходов, хотя в этой области по-прежнему необходимы дополнительные исследования.

Х. ПОДХОДЫ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, ПЕРЕРАБОТКИ И СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЕМА ОТХОДОВ В ИСТОЧНИКЕ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

А. Сокращение объема отходов при разработке месторождений, обогащении минерального сырья и металлургическом извлечении

41. Экологическая чистая технология представляет собой неотъемлемый компонент деятельности по минимизации отходов и предотвращению загрязнения окружающей среды (сокращение объема отходов в источнике их образования) и часто ассоциируется с такой деятельностью и в основном используется и фактически разрабатывается в перерабатывающих отраслях промышленности. В идеале при оценке "чистоты" той или иной технологии необходимо также учитывать экологические характеристики деятельности первоначальных поставщиков и конечных пользователей и лиц, отвечающих за удаление отходов, хотя это часто трудно бывает определить, и на практике рамки такой оценки более узко ограничиваются указанным процессом.

42. Для содействия деятельности по предотвращению загрязнения окружающей среды в рамках всеобъемлющей системы управления принят ряд общих или межсекторальных стратегий: а) повышение эффективности функционирования предприятий, б) внесение изменений в технологию обработки, с) утилизация, регенерация и повторное использование отходов, d) замена сырья и е) изменение содержания продукции.

43. В том что касается добычи и обработки обычных и благородных металлов наиболее очевидным является применение стратегий a, b, и c, указанных выше, хотя иногда возникают возможности для изменения характера вводимых ресурсов процесса (т.е. стратегия d), например, путем применения выборочных и более точных ("узконаправленных") методов добычи полезных ископаемых (Almgren et al, 1996). Стратегия e имеет второстепенное отношение к горной промышленности и в настоящем документе не рассматривается.

44. Когда имеется возможность выбора из нескольких конкурирующих между собой экологически чистых технологий, их можно классифицировать исходя из того, сколь опасными являются их отходы, каков объем расходов по их переработке/удалению, какую ответственность эти отходы могут вызвать в будущем, какова вероятность аварий и сколь дорогостоящими являются вводимые материальные ресурсы. При определении чистоты той или иной конкретной технологии особое значение имеет оценка использования ресурсов и воздействия на окружающую среду с использованием методологий учета жизненного цикла и оценки жизненного цикла (ОЖЦ).

45. Хотя преимущества минимизации отходов являются весьма многочисленными, иногда может возникать необходимость преодоления сдерживающих факторов организационного плана, таких, как неуверенность руководящего звена в силу отсутствия гарантий прибыли по вложенным средствам, вероятность простоев в рамках производственного процесса, проблемы, связанные с качеством продукции и утечкой имеющейся у владельцев информации через консультантов по вопросам сокращения объема отходов. Наиболее эффективный путь преодоления этих препятствий состоит в

том, чтобы заручаться поддержкой руководителей высшего и среднего звена, руководителей предприятий и операторов предприятий (т.е. всей корпоративной структуры) (Haas, 1995).

В. От управления ликвидацией отходов к предотвращению образования отходов и наоборот

46. Существующая в настоящее время в горнодобывающем секторе тенденция к сокращению объема отходов в источнике их образования сдерживается проблемами, которые, в частности, касаются имеющего низкую стоимость, но при этом экологически опасного минерального сырья, присутствующего в рудных телах обычных и ценных металлов, как-то мышьяк и пирит. Мышьяк особенно наглядно иллюстрирует проблемы и вопросы, связанные с не имеющими экономической ценности и токсичными загрязняющими веществами, как правило, сопутствующими комплексам ценных минеральных ресурсов. Обычно, они образуются в качестве побочного продукта при получении других более важных металлов, таких, как медь, свинец, цинк, золото, серебро и олово. Триоксид мышьяка товарной сортности получают путем плавления или обжига руд или концентратов цветных металлов по крайней мере в 18 странах (Broad, 1997). Рыночные перспективы на будущее для производства мышьяка не представляются обнадеживающими, поскольку сплавы свинца и мышьяка в электрических батареях заменяются свинцово-кальциевыми эквивалентами и делается все больший упор на низкотехнологичных видах использования, таких, как обработка древесины.

47. Многие очистные технологии, разработанные для безопасного удаления опасных отходов, являются неприменимыми в случае минеральных отходов, содержащих мышьяк. Для решения этой проблемы разрабатываются другие возможные способы, включая:

а) "Технологию синтетической иммобилизации минералов (ТСИМ)": при обработке ТСИМ металлы осаждаются или преобразуются в неиспаряемые формы, а затем к ним добавляются соответствующие "подгонные" химикаты, с тем чтобы на этапе преобразования формировалась нужная синтетическая минеральная смесь (White and Toor, 1996). Технология ТСИМ используется для стабилизации пыли мышьяка в воздуховодах (содержащей триоксид мышьяка) в форме минерала апатитного типа с низкой растворимостью ($\text{Ca}_5(\text{AsO}_4)_3\text{F}$);

б) "Ферроарсенаты": на протяжении вот уже ряда лет ведутся исследования в области высокотемпературного осаждения находящегося в растворенном состоянии мышьяка в виде стабильных, кристаллообразных ферроарсенатов (см., например, Swash and Monhemius, 1994, и содержащиеся там ссылки). Ферроарсенаты образуются путем растворения изотопов мышьяка (обычно триоксида мышьяка (Van Weert and Droppert, 1994), после чего при помощи растворов железосодержащих нитратных (или сульфатных) растворов при температуре от 140° до 160° С они преобразуются в кристаллический скородит ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

с) "Включение в силикатные шлаки": к альтернативам формирования низкорастворимых минеральных фаз относится включение мышьяка в силикатные шлаки. Исследования показали, что в "стекловидные" силикатные шлаки может быть включено до 10 процентов мышьяка по весовому исчислению при очень низком уровне выделения мышьяка во время последующего выщелачивания (Machingawuta and Broadbent, 1994).

48. Несмотря на эти последние достижения, вопрос об извлечении, обработке и удалении мышьяка все еще относится к числу нерешенных. Отсутствие рынков сбыта для содержащих мышьяк побочных продуктов обуславливает отсутствие финансового стимулирования деятельности по извлечению мышьяка (хотя порой извлечение в процессе обработки производится случайно), к тому же финансовые последствия ответственности не разработаны в достаточной степени для того,

/...

чтобы стать альтернативным фактором. При отсутствии рынка сбыта для тех или иных отходов или побочных продуктов и при условии того, что избежать наличия загрязняющего вещества в исходном сырье для производственного процесса не представляется возможным, найти по-настоящему экологически чистое технологическое решение не удастся. Имеются следующие альтернативные варианты: а) не добывать руды, содержащие проблемные металлы и материалы, рынка сбыта для которых не существует, или б) признать, что извлечение, изоляция и эффективная очистка проблемных элементов до их удаления представляют собой оптимальное решение. Фактически предпочтение отдается второму варианту, хотя имеются примеры того, когда предлагаемая разработка полезных ископаемых не производилась в силу в целом неприемлемого риска ("Нью уолд майн" на границе Национального парка "Еллоустоун", Соединенные Штаты Америки), что в будущем может создать прецедент в плане введения ограничений в отношении добычи полезных ископаемых на "опасных" участках, которые еще не "защищены" от такой деятельности, или поблизости от них. В самом крайнем случае неприемлемый характер ограничений на горнодобывающую деятельность может способствовать извлечению и предварительной обработке нецелевых и не имеющих экономической ценности металлов и металлоидов, если после проведения углубленных научных исследований это будет признано оптимальным в экологическом отношении вариантом.

XI. ВЫВОДЫ: ОПТИМИЗАЦИЯ СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЕМА ОТХОДОВ, ИХ ПЕРЕРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

49. Наиболее передовые технологии трудно охарактеризовать в абсолютном выражении, поскольку вспомогательные средства, при помощи которых производятся оценки, такие, как ОЖЦ, еще не до конца разработаны. Кроме того, не до конца осознаны экотоксикологические последствия использования и переработки, хотя достижения в области проведения экотоксикологических оценок на конкретных участках содействовали устранению неопределенности в вопросах, связанных с принятием некоторых мер по исправлению положения на участках добычи полезных ископаемых (Pascoe, 1994; Greene and Barich, 1994). В то же время от лиц, занимающихся вопросами ликвидации отходов, все в большей степени требуется разработать стабильный подход и сформулировать соответствующие стратегии для нахождения наиболее практического варианта обеспечения охраны окружающей среды (Barton et al, 1996). Если говорить реалистически, то всегда будет существовать потребность в параллельном применении методов сокращения объема отходов, их переработки, использования, очистки, а также в изыскании низкотехнологичных решений для улучшения состояния окружающей среды в горнодобывающем секторе. Каждое из этих направлений имеет свое значение, и, хотя можно ожидать, что со временем баланс изменится, ни одно из них полностью не сольется с другим. Многие агентства - государственные и частные, - которые потенциально могут участвовать в восстановлении участков добычи полезных ископаемых (а затем и в переработке), ограничены в своей деятельности нормативными и институциональными барьерами, такими, как вопрос об ответственности. Это не только сдерживает физическое восстановление или рекультивацию участков, но также, как правило, создает препятствия в деле осуществления инвестиций в разработку новаторских технологий (Durkin, 1995). Таким образом, вопрос заключается в изыскании наиболее эффективных способов использования регулирования для поощрения переработки и использования отходов горнодобывающей промышленности по сравнению с подходами, применяемыми в настоящее время.

50. Восстановление существующих рудничных площадок представляет собой важную возможность для разработки новых и новаторских технологий в области переработки отходов горнодобывающей промышленности и для формирования политики и технических процедур, поощряющих использование вторичных отходов, а не первичных ресурсов, в тех случаях, когда это возможно. Растущие трудности в области разработки первичных ресурсов обуславливают превращение самих

отходов в потенциальные ресурсы. Нормативные и качественные стандарты могут воспрепятствовать использованию новаторских технологий, и могут возникать технические барьеры для переработки некоторых сложных отходов. Кроме того, информация, касающаяся стоимости и эффективности новаторских технологий может быть неполной, а это, в свою очередь, препятствует инвестированию в такие технологии. Самые передовые технологии также должны конкурировать со все более многочисленными методами достижения стабилизации (ТСИМ). Хотя такие технологии имеют свои недостатки, как-то низкая степень доверия к ним и опасения в плане их долгосрочной стабильности, они все же могут быть единственным практическим решением применительно к тем минералам/металлам, которые имеют очень низкую или даже нулевую рыночную стоимость.

Примечания

¹ По мере дальнейшего уменьшения размеров частиц они все труднее поддаются обработке и/или отделению.

² При производстве серной кислоты имеет место замена обычной серы пиритом (Берковиц, 1988 год), которая свидетельствует о том, что продажа пирита, возможно, не является коммерчески выгодной.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

