E

الأمم المتحدة

Distr.
GENERAL

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

المجلس الاقتصادي والاجتماعي

لجنة الموارد الطبيعية
الدورة الرابعة
١٠ - ١٩ آذار/ مارس ١٩٩٨
البند ٦ من جدول الأعمال المؤقت*

قضايا حماية وإصلاح البيئة الناشئة عن أنشطة الصناعات المعدنية

أحدث التكنولوجيات البيئية لاستغلال وإعادة تجهيز نفايات الصناعات المعدنية

تقرير الأمين العام

موجـــز

أعد هذا التقرير استجابة لمقرر المجلس الاقتصادي والاجتماعي ٣٠٦/١٩٩٦. ويصف التقرير تدابير استغلال وإعادة تجهيز النفايات المعدنية في سياق أوسع نطاقا هو الاستيعاب المتزايد لتكنولوجيات تخفيض النفايات عند المصدر. وقد ركّز في ذلك على النفايات الصلبة المتخلفة عن استخراج وتجهيز ركازات المعادن البخسة والثمينة، لأن تلك النفايات يعزى إليها بعض من أهم الآثار البيئية العسرة والشبثة. بيد أنه يرد أيضا في المواضع المناسبة عرض لأمثلة من القطاعات الفرعية الأخرى للصناعات المعدنية. وعلى الرغم من أن التقرير يركز على نفايات الصناعات المعدنية، فإن بعض التكنولوجيات والممارسات التي يتناولها بالعرض يمكن أن تكون صالحة للتطبيق أيضا في حالات التربة الملوثة وغيرها من المواد الصلبة المحتوية على فلزات.

* E/C.7/1998/1.

190298 190298 98-02359

المحتويات

		الفقرات	الصفحة
أولا	- مقدمة	١	٣
ثانيا	- إنتاج النفايات في الصناعات المعدنية والقضايا ذات الصلة	٢ - ٨	٣
ثالثا	- الاستغلال وإعادة التجهيز	٩ - ١٣	٥
رابعا	- المحفزات المؤثرة على استغلال النفايات وإعادة تجهيزها	١٤ - ١٦	٦
خامسا	- عمليات التعدين (العمليات الاستخراجية) ونفاياتها المحتملة	١٧ - ١٨	٦
سادسا	- تجهيز المعادن واحتمالات توليد النفايات	١٩ - ٢٣	٧
سابعا	- الميتاليورجيا الاستخلاصية والتوليد المحتمل للنفايات	٢٤ - ٣١	٨
	ألف - الميتاليورجيا المائية	٢٥ - ٢٩	٨
	باء - الميتاليورجيا الحرارية	٣٠ - ٣١	١٠
ثامنا	- مستوى التطور الراهن في مجال استغلال النفايات المعدنية	٣٢ - ٣٥	١١
	ألف - القيود الماثلة في مجال استغلال النفايات المعدنية	٣٢	١١
	باء - الاستغلال الموقعي	٣٣ - ٣٤	١١
	جيم - الاستغلال غير الموقعي	٣٥	١٢
تاسعا	- إعادة تجهيز النفايات المعدنية	٣٦ - ٤٠	١٢
	ألف - إعادة تجهيز النفايات لاستعادة الكبريتيدات المولدة للأحماض	٣٦ - ٣٨	١٢
	باء - إعادة التجهيز عن طريق النض الحيوي	٣٩	١٤
	جيم - البدائل للسيانيد في استعادة الذهب	٤٠	١٤
عاشرا	- النهج المتصلة بالاستغلال وإعادة التجهيز والتخفيض عند المصدر	٤١ - ٥٠	١٤
	ألف - التخفيض عند المصدر في عمليات التعدين، وتجهيز المعادن والمتالورجيا الاستخلاصية	٤١ - ٤٥	١٤
	باء - من إدارة النفايات إلى منع النفايات والعودة	٤٦ - ٤٨	١٥
حادي عشر	- الاستنتاجات: تحقيق أقصى فعالية للتخفيض عن المصدر وإعادة التجهيز والاستقلال	٤٩ - ٥٠	١٧
المراجع			١٩

أولا - مقدمـــة

١ - أدت وفرة الموارد الجيولوجية المتاحة، مقترنة بأحوال سوقية خارجة بوجه عام عن سيطرة المؤسسات المنتجة للفلزات، إلى جعل هذا القطاع منخفضا في مستوى الابتكار التكنولوجي. بيد أن موضع التركيز قد تغير حاليا: فبعد فترة كان التغير التكنولوجي فيها محدودا، استجد الحافز إلى تطوير التكنولوجيا في صناعة المعادن بفعل القلق السائد على الصعيد العام إزاء الآثار البيئية المعاكسة، وسن أنظمة بيئية تلزم المؤسسات بتخفيف تلك الآثار أو منعها. وربما يكون الانتشار السائد حاليا لمفهوم "إدارة النفايات" بدلا من مفهوم "منع التلوث" انعكاسا للموقف السائد إزاء إجراء الإغلاق، وهو أن اتباع نهج علاجي بأسلوب الهندسة المدنية كاف لإيقاف تشغيل موقع ما على الوجه السليم وتجنب التبعات المحتملة مستقبلا. ولكن على الرغم من أن هذا ربما كان صحيحا قبل ٢٠ سنة مضت، فإن التكنولوجيا والتشريعات وتوقعات أصحاب المصلحة قد تغيرت منذ ذلك الحين، ومن ثم فإنه إذا كان يوجد خيط عام يربط بين النهج الراهنة لإدارة النفايات، فإن هذا الخيط هو أن الحلول التي يمكن أن تعتبر حلولا قصيرة الأجل (ولكن رخيصة نسبيا) للمشاكل البيئية الطويلة الأجل، تتلازم معها إمكانية المقاضاة وتحميل التبعة مستقبلا.

ثانيا - إنتـــاج النفايات في الصناعات المعدنية والقضايا ذات الصلة

٢ - نادرا ما توجد الفلزات وغيرها من الموارد المعدنية في حالة نقية بدرجة تجعلها صالحة للبيع بشكلها "حال استخراجها". وكثيرا ما توجد الفلزات في اتحاد كيميائي مع الأكسجين (في صورة أكاسيد)، أو مع الكبريت (في صورة كبريتيدات)، أو مع عناصر أخرى (الكلوريدات والكربونات والزرنيخات والفوسفاتات وما إليها). كما أن الموارد المعدنية غير الفلزية (الفحم والمعادن الصناعية) تحتوي عادة في حالتها الطبيعية الأصلية على شوائب محمولة فيها فيزيائيا أو كيميائيا.

٣ - وعلى الرغم من أن أي وحدة من وحدات العمليات التي تشملها الدورة العمرية لأي عملية تعدين تنطوي على إمكانية إنتاج أثر أو تأثير بيئي، فإن تلك الإمكانية تنشأ عادة من الإخراج المتعمد (الخاضع للأنظمة) والعرضي (غير الخاضع للأنظمة) لنواتج النفايات الصلبة والسائلة والغازية. ومن العوامل الرئيسية في تحديد مدى جسامة أثر تلك النفايات الخارجة أو تأثيرها، الخصائص التي تتسم بها وطبيعة البيئة المستقبلة والمسافة التي تنقل عبرها. كما أن القيم والتفضيلات الاجتماعية تؤدي دورا مهما في تحديد الكيفية التي تنظر بها المجموعات المختلفة من أصحاب المصلحة إلى بعض النفايات الخارجة: ومن ثم فإن هذا العامل المتسم بقدر أكبر من طابع الذاتية والملحق بعاملين آخرين قابلين للتقدير الكمي وللقياس، هما خصائص الفضلات الخارجة وخصائص البيئة المستقبلة، يحدد، جزئيا، "البصمة" البيئية الموقعية الخاصة للعملية المعنية.

٤ - وقد أخذ يتزايد حاليا، بناء على الفهم الأكثر شمولا للتأثيرات المحتملة، احتمال أن تتغلب ضغوط الحماية البيئية في حالة احتياطيات معدنية معينة على مبررات استغلال تلك الاحتياطيات (Hodges، ١٩٩٥). ويجب على الصناعة ككل أن تدأب جاهدة، في شراكة مع أصحاب المصلحة على أوسع نطـــاق ممكن، على رفع مستويات الأداء في مراقبة وإدارة أعمال التعدين طوال الدورة العمرية للعملية المعنية. وهذا يشمل الارتقاء إلى مستوى أعلى من الكفاءة في استغلال الموارد.

٥ - والمصدر الرئيسي للنفايات الصلبة المتخلفة عن التعدين وما يليه من عمليات التجهيز هو "شَوب الركاز" (المعادن عديمة القيمة أو دون الاقتصادية المرتبطة بالمعدن (المعادن) المستهدف أو الاقتصادي (المستهدفة أو الاقتصادية)). وتبعا للمرحلة التي يُلفظ فيها هذا الشوب من العملية، يمكن التخلص منه وهو في حالته التي استُخرج عليها (النفايات الصخرية)، أو كمخلفات (عقب عمليات التجهيز المعدني)، أو كأخباث (بعد عمليات الصهر) أو كنواتج نفايات أخرى (الأتربة، أو الأوحال الناتجة عن عمليات معالجة المياه، أو الركاز المستهلك الناتج عن عمليات النض، أو ما إلى ذلك). وهذه النفايات المختلفة يمكن أن تحتوي أيضا على كميات غير قليلة من المعدن أو الفلز المستهدف نتيجة لنقص كفاءة عملية التجهيز أو بسبب قيود تكنولوجية أو عوامل متعلقة بخصائص المعادن.

٦ - وهناك أيضا علاقة عكسية بين الرتبة (درجة تركيز الفلز (الفلزات) في المُنتج النهائي أو الوسيط) ونسبة الاستعادة (النسبة المئوية لإجمالي الفلز (الفلزات) ذي (ذات) القيمة المحتوى (المحتواة) في المادة المغذاة في وحدة التجهيز، المؤدية إلى المُنتج الصالح للبيع). فمن الممكن الحفاظ على الرتبة عالية جدا برفض قسط كبير من مادة التغذية (أي بقبول نسبة استعادة منخفضة) أو الحفاظ على نسبة استعادة عالية جدا عن طريق التخفيف البالغ للمركزات بمادة أدنى رتبة. بيد أن الحل الاقتصادي الأمثل لا يكمن عادة في أي من هاتين الحالتين المتطرفتين. ويمكن القول على سبيل التبسيط إن هذا يقاس بمقارنة العائد الذي تدره الاستعادة الإضافية للمادة (المواد) بالتكاليف الاستثمارية والتشغيلية اللازمة لذلك، في سياق أوسع نطاقا هو سياق الجدوى التقنية. وينتهي الأمر في جميع الحالات دون استثناء إلى أن قدرا ما من الفلز (الفلزات) المستهدف (المستهدفة) يصير ضمن النفايات، مع المعادن الشائبة.

٧ - وفي عملية تعدين الفلزات غير الحديدية، يكون شوب الركاز عادة هو المكون الرئيسي في كتلة الركاز. وأوضح ما يكون ذلك هو في حالة الذهب، حيث تكون درجة تركيز المادة ذات القيمة بالغة الانخفاض - ٥ غرامات أو أقل في الطن الواحد عادة - إلى درجة أن الركاز المستخرج بالتعدين يُتخلص منه كله تقريبا كنفايات في شكل أو آخر، ما لم توجد فيه أيضا مكونات أخرى ذات قيمة، مثل المعادن البخسة. وقد يكون شوب الركاز في موارد معدنية أخرى أقل من ذلك بالنسبة إلى المعدن المستهدف، ولكن التخلص من النفايات المتصلة بشوب الركاز يظل عادة قضية مهمة، بحيث أن محور الكثير من عمليات التعدين يدور حول مسألة التخلص من النفايات بقدر ما يدور حول مسألة استخراج الموارد.

٨ - ومن الواضح أن عملية التخلص من النفايات المتصلة بأنشطة التعدين تشكل مصدرا مهما من مصادر العناصر المحتملة الضرر في البيئة الطبيعية. بيد أن المدخلات لا تؤدي بالضرورة إلى الإضرار بالبيئة؛ وقد توجد عوامل مخففة عديدة، بعضها يتصل بالعمليات، مثل الخصائص الكيميائية والفيزيائية للنفايات، وبعضها يتصل بالبيئة الخارجية، مثل المناخ أو الطبوغرافيا أو خصائص النظام الأيكولوجي.

ثالثا - الاستغلال وإعادة التجهيز

٩ - يمثل أسلوبا الاستغلال وإعادة التجهيز اثنين من طائفة متنوعة من أساليب "المكافحة عند المصب" أو التقنيات "العلاجية"، التي تستهدف معالجة القضايا البيئية المرتبطة بإنتاج النفايات في صناعة التعدين. وقد سادت قطاع التعدين على مدى تاريخه النهج المنخفضة التقنية للمكافحة عند المصب، ولكن هذه الحلول أصبحت متطورة بدرجة متزايدة مؤخرا، في سياق يشهد تطبيقا متزايدا لتكنولوجيا "التخفيض عند المصدر".

١٠ - وفي "الترتيب الهرمي" لأساليب التصرف في النفايات في إطار إدارة النفايات، يعتبر أسلوبا الاستغلال وإعادة التجهيز أقل استصوابا من أسلوب تخفيض النفايات عند المصدر (منع التلوث)، ولكنهما يعتبران خيارا بيئيا أفضل من أسلوبي المعالجة أو التخلص (Allen and Rosselot، ١٩٩٧).

١١ - والاستغلال يستتبع عادة استخدام النفايات في شكلها غير المعالج (وإن كان الشكل الفيزيائي للمادة قد يعدل)؛ وفي حالة نفايات الصناعات المعدنية، يمكن أن يكون الاستغلال أكثر جدوى بعد إعادة التجهيز التي تستهدف إزالة أو تخفيض تركيز الملوثات المهمة بيئيا والفلـــز (الفلزات) المستهدف (المستهدفة). ولا ينبغي أن تستعمل سوى النفايات التي تكون "نظيفة" بالدرجة الكافية، خصوصا خارج الموقع، حيث أن القضية الرئيسية بشأن استغلال النفايات هي أنه ينطوي على إمكانية انتشار الملوثات الضارة بيئيا على مساحة مكانية أوسع كثيرا. وبوجه عام، كلما زادت درجة التلوث، تناقصت إمكانية الاستغلال. وبالنظر إلى هذه القيود، يمكن أن يكون أسلوب الاستغلال جذابا بنفس القدر بالنسبة إلى العمليات الراهنة وإلى النفايات القديمة أو المتروكة.

١٢ - ويمكن القول بأن العكس صحيح بالنسبة إلى أسلوب إعادة التجهيز، من حيث أنه كلما زادت نسبة وجود الفلز (الفلزات) المستهدف (المستهدفة) في النفايات، ازدادت إمكانية إعادة التجهيز. ويوجد لمفهوم إعادة التجهيز بهدف استعادة مُنتج أو أكثر من المنتجات ذات القيمة (الفلزات، الأملاح الفلزية، المعادن) مجال أكبر للتطبيق في حالة المخلفات القديمة الناتجة من صناعة التعدين. ويوجد لهذا سببان هما: أن رتب الركاز كانت في الماضي أعلى بوجه عام منها حاليا، وأن التكنولوجيا عندئذ كانت أقل كفاءة.

١٣ - وقد لا تؤدي إعادة التجهيز بالضرورة إلى تحسن بيئي، ومن ذلك مثلا الحالات التي تظل فيها النفايات المتخلفة (بعد إعادة التجهيز) محتوية على تركيزات غير قليلة من ملوثات أخرى، مثل المعادن

غير المستهدفة. بيد أنه في كثير من الأطر التنظيمية، يمكن أن تكون إعادة التجهيز مرتبطة باشتراط التخلص المأمون من النفايات النهائية (مثلا في موقع مجهز هندسيا للتخلص من النفايات) حيثما لا يمكن الوفاء بهذا الشرط قبل إعادة التجهيز.

رابعا - المحفّزات المؤثرة على استغلال النفايات وإعادة تجهيزها

١٤ - هناك كثير من المحفّزات "الإيجابية" التي تحفز على اتباع نهج ابتكارية في علاج مواقع التعدين الملوثة، مثل نهجي استغلال النفايات وإعادة تجهيزها. وهناك أيضا كثير من العوائق (المحفّزات "السلبية") التي تحول دون تزايد استيعاب تلك النهج. وتشمل المحفّزات الإيجابية الرئيسية منجزات التقدم التكنولوجي؛ وزيادة أسعار الفلزات؛ وندرة السلع الأساسية؛ والتغيرات التي تطرأ على الاستخدامات الاستراتيجية لسلع أساسية معينة؛ والرغبة في زيادة استغلال الموارد إلى الحد الأقصى؛ وجدول أعمال القرن ٢١؛ وقضية الاستدامة؛ وضرورة إزالة اقتران النمو الاقتصادي بالتأثيرات البيئية؛ ومبدأ "الملوث يدفع"؛ والالتزامات/التبعات القانونية؛ والشروط الإلزامية؛ وغير ذلك من الضغوط المنتشرة التي تمارسها الأطراف المؤثرة.

١٥ - وقد يكون من المحفّزات المهمة أيضا التصور السائد لدى عامة الجمهور، الذي مؤداه أن النهج الحالية قد لا تكون نهجا مُثلى أو مقبولة بيئيا في الأجلين المتوسط والطويل، وإن كان يرجح أن هذا المحفّز ليس ملموسا في صناعة التعدين بالقدر الملموس به في بعض القطاعات الصناعية الأخرى. بيد أن أهميته قد تظل قائمة مع ذلك على الصعيدين المحلي والإقليمي.

١٦ - وتشمل المحفّزات الأخرى الأطر التنظيمية التي تشجع على الابتكار في مجالي التكنولوجيا وإدارة الموارد، والمبادرات التي تتخذها الصناعة لإيجاد حلول أكثر فعالية وأقل تكلفة للقضايا البيئية الحالية والمقبلة (Kovalick، ١٩٩٣؛ و Ayen، ١٩٩٤).

خامسا - عمليات التعدين (العمليات الاستخراجية) ونفاياتها المحتملة

١٧ - عموما هناك ثلاثة أنواع من التعدين: التعدين السطحي والتعدين الجوفي والتعدين في الموقع (التعدين بالإذابة). والنوع الأخير له تطبيقات محدودة، وإن كان يستخدم أحيانا لاستغلال معدنة المتبقيات بعد انخفاض الرتب سواء في المناجم السطحية أو المناجم الموجودة تحت الأرض. وأهم صور التعدين السطحي هو الحفر المكشوفة (لاستخراج ركاز المعادن البخسة والمعادن الثمينة) أو الطرق المستخدمة في المناجم المكشوفة (عمليات استخراج الفحم). وبغض النظر عن الطريقة المستخدمة، فإن التعدين يكون مصحوبا دائما بعملية تجهيز من نوع أو آخر. وقد يقتصر التجهيز بالنسبة للمواد النقية نسبيا أو المتجانسة على التكسير والطحن (استخراج بعض خامات الزيولايت الطبيعية، والأحجار التي يتم اقتلاعها) أو الغسل الفيزيائي (بعض عمليات استخراج الفحم). ولا تتاح خيارات التجهيز البسيطة هذه إلا

عندما تشكل المعادن المستهدفة الجزء الغالب من المادة المستخرجة. وفي هذه الحالات، تقترن المواد المنطلقة إلى البيئة والآثار والتأثيرات البيئية الرئيسية بالتعدين نفسه لا بعمليات التجهيز اللاحقة.

١٨ - والمادتان الرئيسيتان اللتان تنطلقان من التعدين السطحي والجوفي فيما يتعلق بإعادة التجهيز والاستخدام هما: النفايات المعدنية (المواد التي تعلو الركاز والنفايات الصخرية) والمياه الملوثة (السوائل الحمضية المحملة بالفلزات المنصرفة من مواقع التخلص من النفايات، ومخلفات التشغيل). وهذه الأخيرة مهمة أيضا في عمليات التعدين في الموقع، وإن كانت المادة (المواد) الكيميائية المضافة التي تتم بها عملية نض الفلز يمكن أيضا أن تسهم في تلويث المياه وإفسادها.

سادسا - تجهيز المعادن واحتمالات توليد النفايات

١٩ - يعرف تجهيز المعادن بأنه التجهيز الفيزيائي للمعادن. فهو لا يحدث أي تغيرات كيميائية في المكونات المعدنية للركاز، ولكنه وسيلة لتحقيق الفصل الفيزيائي (والتركيز) للأطوار المعدنية المختلفة: مثل فصل المعادن المستهدفة عن معادن شوب الركاز أو فصل معدن قيم عن معدن آخر (Hayes، ١٩٦٣). وفي حالة الموارد المعدنية غير الفلزية فإن تجهيز المعادن يمكن أن يعطي منتجا نهائيا. أما في حالة الفلزات فإنه يمثل مرحلة متوسطة لأنه لا يؤثر على الارتباط الكيميائي بين الفلز والأكسجين أو الكبريت وغيرهما من العناصر اللافلزية. ومن ثم، فإن تجهيز المعادن يكون عادة مرحلة متوسطة بين التعدين والميتالورجيا الاستخلاصية، وإن كانت هناك استثناءات، من قبيل النض التكويمي أو الدلقي للركاز في صورته المستخرج بها. وتشكل نواتج تجهيز المعادن (المركزات) مدخلات الميتالورجيا الاستخلاصية (إما عمليات الميتالورجيا المائية أو عمليات الميتالورجيا الحرارية).

٢٠ - ويمكن تقسيم طرق تجهيز المعادن إلى مجموعتين: تقليل الحجم وفصل الأطوار المعدنية. ويستخدم الجرش والطحن (يتبعهما الفرز حسب الحجم) لتخليص المعادن الاقتصادية وغير الاقتصادية من بعضها البعض، ومن ثم ينتجان مواد مناسبة تغذي عمليات لاحقة يمكن من خلالها الحصول على أطوار معدنية منفصلة. غير أن الطحن لا ينتج عنه عادة منتجات معدنية حرة، لأن بعض الحبيبات قد تبقى على هيئة مخلوط من نوعين أو أكثر من المعادن وتكون خصائصها الفيزيائية أو الكيميائية هي تلك المميزة لذلك المخلوط. وهذا يمكن أن يؤدي إلى التخلص من المعادن المستهدفة مع شوب الركاز، أو إلى تخفيف المركزات المعدنية بمعادن الشوب.

٢١ - ويجري تقليل الحجم باستخدام "كسارات" (فكية ودوارة وقمعية) و "طواحين" (قضيبية وكرية ومطرقية وصدمية). ويستخدم الجرش لتقليل حجم جلاميد الركاز الداخلة حتى يصل قطر حبيباتها إلى ٢٥ ملليمتر أو أقل. بعد ذلك، قد تنقل هذه المادة إلى الطواحين أو قد تجهز مباشرة إذا كان المعدن القيم قد حرر بدرجة كافية. ويقلل الطحن حجم الحبيبات إلى حد أدنى يبلغ نحو ١٠ ميكرون[1] وخلافا لعملية الجرش،

التي تجرى مباشرة على الخام المستخرج من المنجم، فإن الطحن يجري غالبا في الحالة الرطبة ويكون ناتج الطحن على هيئة "رزغة"، وهي جسيمات دقيقة عالقة في الماء.

٢٢ - ويجري فصل المعادن عن بعضها باستخدام ما بينها من فروق في الخصائص المعدنية سواء على أساس حجم الحبيبات أو كثافتها أو خواصها المغنطيسية والكهربائية أو الخصواص الكيميائية لأسطحها (التعويم).

٢٣ - ويعتمد في اختيار أسلوب الفصل على عدد من العوامل المتعلقة بظروف الموقع، والتي تشمل حجم العملية، وحجم الحبيبات الذي يكفي لتحرير المعادن بدرجة كافية، والخواص المعدنية، والدورة الكلية للتجهيز (من التعدين إلى الميتالورجيا الاستخلاصية) وما إلى ذلك. وفي النهاية، فإن كل عملية تنتج "مركزا" (غنيا بالمعدن المستهدف أو المعادن المستهدفة) و "مخلفات" (تحتوي أساسا على معادن دون اقتصادية أو غير اقتصادية) و "نواتج وسطية" (حبيبات ما زالت فيها المعادن المستهدفة ومعادن شوب الركاز غير مفصولة عن بعضها بدرجة كافية). وعادة ما تطحن النواتج الوسطية مرة أخرى أو تنقل لمعالجتها بعملية بديلة لتحرير المعادن الثمينة أو لاستعادتها بوسائل أخرى، أما المخلفات فيتم التخلص منها كنفايات. ومن بين العمليات المختلفة المتبعة في الفصل فإن التعويم يعد حاليا أكثر الطرق شيوعا لإنتاج المركزات المعدنية، وخصوصا من الركازات الكبريتيدية، كما أنه يمثل المصدر الرئيسي للمخلفات. أما العمليات المتكاملة الأخرى المتبعة في تجهيز المعادن فهي قليلة الأهمية من حيث تأثيرها المحتمل على البيئة الخارجية لأنها تجري أساسا في نطاق دوائر محكمة الإغلاق وبعبارة أخرى، فإن الكثير من العمليات المتكاملة تمرر ١٠٠ في المائة من مدخلاتها إلى العملية التالية. وغالبا ما يمثل التعويم العملية النهائية والمرحلة التي تتولد عنها نفايات (مخلفات) تنقل إلى البيئة الخارجية. والمخلفات التي تتولد في أثناء عملية التعويم تتكون أساسا من جسيمات دقيقة من معادن شوب الركاز، تحتوي بداخلها على كميات مختلفة من المعدن (المعادن) المستهدف (المستهدفة)، حسب اقتصاديات العملية وكفاءتها والقيود التي تمليها الخواص المعدنية.

سابعا - الميتاليورجيا الاستخلاصية والتوليد المحتمل للنفايات

٢٤ - يمكن تقسيم الميتاليورجيا الاستخلاصية إلى قسمين رئيسيين "الميتاليورجيا المائية" و "الميتاليورجيا الحرارية". وثمة قسم ثالث هو الميتاليورجيا الكهربائية، غير أنه لا يجري تناوله هنا بعمق لأن استخداماته محدودة بدرجة كبيرة في قطاع التعدين (وأساسا في إنتاج الألمونيوم وبعض الزنك).

ألف - الميتاليورجيا المائية

٢٥ - يستخدم طرق الميتاليورجيا المائية المتصلة بمعالجة الركازات أكثر ما تستخدم في حالة الذهب واليورانيوم والنحاس والألمونيوم، كما تستخدم بدرجة أقل في حالة الزنك والنيكل. وبصفة خاصة، فإن الركازات المحتوية على أكاسيد (نحو ١٠ في المائة من الركازات غير الحديدية) تعالج بطريقة النض. يجهز

الركاز أولا وفقا لمتطلبات العمليات التالية، ثم يستخدم مركب نض لاستخلاص الفلز أو الفلزات القيمة في صورة محلول مخفف محتو على الفلز. بعد ذلك ينقل هذا المحلول إلى مرحلة استعادة الفلز، وهي المرحلة التي قد تشمل الترسيب أو الاستخلاص بالمذيبات أو الاستخلاص الكهركيميائي.

٢٦ - وتشمل المواد الكيميائية والمذيبات المستخدمة في النض ما يلي:

(أ) "الأحماض" (حمض الإيدروكلوريك وحمض الكبريتيك) في حالة معادن النحاس المؤكسدة من قبيل الآزورايت والملاكايت والتينورايت والكريزوكولا، "والعوامل المؤكسدة" (كبريتات الحديديك) في حالة معادن النحاس المؤكسدة بدرجة أقل من قبيل الكلكوسايت والبرونايت والكوفلايت والكالكوبايرايت؛

(ب) "القلويات" و "المواد الكيميائية التي أساسها الأمونيا" (إيدروكسيد أو كربونات الصوديوم/ الأمونيوم) لبعض معادن النحاس؛

(ج) "النض بوساطة البكتيريا" والذي تستخدم فيه البكتيريا كعامل وسيط من أجل توليد حمض ومواد مؤكسدة من المعادن الكبريتيدية بطريقة فعالة من حيث التكلفة؛

(د) "مركبات السيانيد" (على هيئة محلول سيانيد الصوديوم أو البوتاسيوم) لإذابة الذهب؛

(هـ) "الزئبق" كعامل ملغمة في استعادة الذهب وهو يستخدم على نطاق واسع في عمليات التعدين المحدودة النطاق، وخصوصا في البلدان النامية.

٢٧ - والطرق المستخدمة في تطبيق عوامل النض المذكورة أعلاه تشمل ما يلي:

(أ) "النض الدلقي" للمادة على سطح غير مبطن. وهذا المصطلح مشتق من ممارسة نض المواد التي ترسبت أصلا كنفايات صخرية؛ ومع ذلك يستخدم أيضا بالنسبة للكبريتيدات المنخفضة الرتبة أو الكبريتيدات المختلطة الرتبة والصخور الأكسيدية المستخرجة من المناجم والموضوعة على أرض غير ممهدة مخصصة على وجه التحديد لإجراء النض؛

(ب) "النض التكويمي" للخامات المنخفضة الرتبة الموضوعة على منصة معدة خصيصا لهذا الغرض ومبطنة ومطلية بمواد مخلقة مثل الأسفلت أو الطين المضغوط. وفي النض التكويمي كثيرا ما يعالج الركاز معالجة أولية لتقليل حجم الحبيبات (بالجرش) قبل وضعها على المنصة؛

(ج) "النض في أحواض" يستخدم هذا الأسلوب كبديل مرتفع الإنتاجية للنض التكويمي والنض الدلقي ويجري عادة في نظام أحواض أو صهاريج تستخدم فيها محاليل تصفية مركزة مع الركاز المستخرج من المنجم/المركزات المعدنية.

٢٨ - وتختلف طريقة استعادة المعدن بحسب المعدن نفسه غير أنها كثيرا ما تتطلب سمنتة تفاضلية (النحاس أو الذهب) أو الاستخلاص بالمذيبات/الاستخلاص الكهركيميائي (النحاس).

٢٩ - والنفايات المتولدة في أثناء عمليات الميتاليورجيا المائية المتصلة بإعادة التجهيز والاستغلال تشمل ما يلي:

(أ) "الركاز المستهلك/المركز المستنفد" المحتوي على مواد كيميائية متبقية عن عمليات سابقة، ومعادن/فلزات مستهدفة وغير مستهدفة؛

(ب) "رزغة الاستخلاص بالمذيبات - الاستخلاص الكهركيميائي" المحتوية على مواد يمكن أن تتراكم في خزانات الاستخلاص بالمذيبات/الاستخلاص الكهركيميائي (الجسيمات، ومستحلبات الطورين العضوي والمائي)؛

(ج) "الالكتروليت المستهلك" المتولد خلال أنشطة الاستخلاص الكهركيميائي والمحتوي على شوائب ذائبة؛

(د) "النفايات الملوثة بالزئبق" الناتجة من استخدام الزئبق في عملية الملغمة.

باء - الميتاليورجيا الحرارية

٣٠ - تمثل عمليات الميتاليورجيا الحرارية في الوقت الراهن أساس عملية استعادة النحاس والزنك والنيكل والرصاص من الرواسب الكبريتيدية. ويشمل تسلسل العملية عادة تجهيز المعدن (بالتعويم عادة) لإنتاج مركز، ثم عملية صهر لغرض هدم البنية البلورية للمعدن عن طريق الأكسدة الحرارية. وتختلف العملية المستخدمة بالنسبة لكل فلز أو مجموعة من الفلزات. فمثلا، يؤدي صهر النحاس إلى تكوين "صهير كبريتيدي" (يصل محتواه الفلزي إلى ٤٠ في المائة) يجري تحويله وهو في الحالة المنصهرة وفصله إلى "نحاس مُنفَّط" (تتراوح نقاوته بين ٩٧ و ٩٩ في المائة) وخبث من السليكات الحديدية قد تسمح قيمته الاقتصادية بإعادة إدخاله في العملية مرة أخرى. ولأن الفلز المنفط يكون منخفض النقاوة بحيث لا يصلح لمعظم التطبيقات الصناعية، فإنه يحتاج إلى تنقية. والتنقية اللازمة تجري عادة بعملية نارية (باستخدام فرن عاكس) إذا كانت مادة التغذية تحتوي على نسبة منخفضة من النواتج الثانوية، أو بالتحليل الكهربائي إذا كان مطلوبا استعادة فلزات أخرى. والكاثودات الناتجة التي تحتوي عادة على نحاس بنسبة نقاوة

تتراوح بين ٩٩,٨ و ٩٩,٩ في المائة تقريبا تسوق مباشرة لتشكيلها تشكيلا أوليا أو لصبها في أشكال محددة (أسياخ). أما فلز الرصاص فينتج بطريقة تعتمد على التلبيد؛ ثم تختزل المادة الملبدة في فرن لافح، وبعد ذلك ينقى الفلز بالطرق الحرارية أو بالميتاليورجيا المائية.

٣١ - وتسفر العمليات الميتاليورجية الحرارية عن خمسة منتجات ملوثة محتملة: الغازات العادمة، والغازات المتسربة، والنفايات السائلة، وغبار الصهر والخبث؛ ويمثل غبار الصهر والخبث عنصرين مهمين فيما يتعلق بإعادة التجهيز والاستخدام.

ثامنا - مستوى التطور الراهن في مجال استغلال النفايات المعدنية

ألف - القيود الماثلة في مجال استغلال النفايات المعدنية

٣٢ - لا توجد في صناعة تعدين المعادن البخسة والثمينة سوى أمثلة قليلة لاستغلال النفايات المعدنية. وهناك لهذا سببان، أولهما القيد الذي يوضع على الاستغلال بفعل وجود معادن (فلزات) تنطوي على إمكانية إحداث ضرر بيئي. ويمكن أن ينظر الى الاستغلال في هذه الحالات على أنه سبيل مؤد الى الانتشار وعامل من العوامل السببية في مجال التلوث والافساد البيئي الأوسع نطاقا. والقيد الثاني هو القيمة المكانية المرتفعة للنفايات المعدنية، حتى إذا كانت "خالية" من الملوثات. فمن المرجح في معظم الحالات أن تكاليف النقل خارج منطقة محدودة نسبيا تتجاوز بكثير القيمة التي يمكن أن تباع بها النفايات ذاتها. وهناك قيد إضافي هو التكلفة المنخفضة نسبيا للمواد الأولية التي تتنافس معها النفايات (الكتل التجمعية الأولية والثانوية ومواد الردم الأخرى وما الى ذلك).

باء - الاستغلال الموقعي

٣٣ - يمكن الى حد كبير التغلب على القيدين الأول والثاني المجملين أعلاه بإيجاد استخدامات موقعية للنفايات. وهذا مطبق بالفعل والى حد كبير في معظم مواقع التعدين، حيث تستخدم النفايات في تطبيقات مثل إقامة السدود والحواجز وتعبيد الطرق والصيانة، وفي التطبيقات المتعلقة بخصائص التربة. بيد أن الإمكانية الكبرى للاستخدام الموقعي للنفايات تكمن في استخدامها كمادة للحشو الخلفي، وخصوصا في المناجم الجوفية. بيد أنه تنشأ هنا مرة أخرى مسألة الملوثات واحتمال الانتشار بمجرد وضع النفايات في مكانها، ومن ثم فإن من المعتاد حشو هذه النفايات بالأسمنت البورتلاندي أو رماد الوقود المسحوق أو غيرهما من عوامل التثبيت (السليكات القابلة للذوبان)، وذلك بهدفين هما تحسين الخصائص الفيزيائية للنفايات وتقليل احتمال ارتشاح الفلزات الى المياه الجوفية الى أدنى ما يمكن. ويستخدم الحشو الخلفي بالنفايات على نطاق واسع في عمليات التعدين الجوفية الضحلة من (الفحم، الحجر الجيري).

٣٤ - ويمكن أن تنشأ مستقبلا تطبيقات ثانوية وربما ذات طبيعة موقعية، وقد تشمل هذه التطبيقات معالجة المياه، ومن ذلك مثلا استخدام النفايات الصخرية بعد طحنها طحنا دقيقا كمادة امتزاز في مجمعات التعويم (Heiskanen and Yao، ١٩٩٢) واستخدام البايرايت (المستعاد عن طريق إعادة التجهيز؛ انظر الفرع تاسعا أدناه) في إزالة المركبات الزرنيخية الذائبة بطريقة الامتزاز (Zouboulis وآخرون، ١٩٩٣).

جيم - الاستغلال غير الموقعي

٣٥ - هناك براءة مسجلة باسم Toivola and Toivola (١٩٩٧) لطريقة إنتاج مادة للبناء من مزيج من نفايات لدائنية حرارية غير مغربلة وكتل تجمعية معدنية. وتشمل التطبيقات الممكنة لذلك بلاطات الرصف والطوب والكتل الخرسانية الطراز. وقد أفاد Aljaro (١٩٩١) عن استخدام النفايات السائلة من المخلفات غير المعالجة كمصدر لمياه الري، بناء على دراسة تولت تمويلها المؤسسة الوطنية للنحاس في شيلي. وتستخدم النفايات السائلة غير المعالجة الناتجة من منجم "إلتنينتي" للنحاس والموليبدنوم في ري المحاصل وسقاية حيوانات المزوعة. وقد تم تحديد وزراعة المحاصيل التي تتحمل وجود مستويات عالية نسبيا من النحاس والموليبدنوم والمنغنيز والكبريتات (وتتحمل الأحوال المحلية للتربة والمياه). وانتقال الفلزات الى الأجزاء الصالحة للأكل من المحاصيل محدود ولا يتجاوز المستويات المسموح بها. بيد أن المرجح أن يكون هذا الاستخدام محدودا جدا بسبب إمكانية تراكم الفلزات في التربة والمياه الجوفية. وتشمل الاستخدامات الأخرى الموثقة استخدام الأحجام الكبيرة من مخلفات التاكونايت النظيفة كمواد لبناء الدعامات والسدود والطرق في الولايات المتحدة الأمريكية، واستخدام الأحجام الصغيرة من مخلفات التاكونايت النظيفة في انتاج الخزف والطوب والبلاط، واستخدام نفايات المعادن البخسة والثمينة في صنع طوب سليكات الكالسيوم المكثف والخرسانة المهواة ومنتجات البناء الرغوية الخفيفة والطوب المضغوط على الجاف والزجاج (Mitchell، ١٩٩٠).

تاسعا - إعادة تجهيز النفايات المعدنية

ألف - إعادة تجهيز النفايات لاستعادة الكبريتيدات المولدة للأحماض

٣٦ - إن عملية تجزئية النفايات الى مكون ثري بالكبريتيدات ومكون مستنفد منها الكبريتيدات توفر الفرصة لتوسيع نطاق خيارات إدارة النفايات المتاحة للعمليات الحالية، ولمعالجة القضايا البيئية في المواقع التي يحدث فيها تولد للأحماض من النفايات غير المفروزة. وفي كلتا الحالتين، يمكن - نظريا - التخلص من المكون الصغير الحجم الثري بالكبريتيدات في مواقع مجهزة لذلك تجهيزا هندسيا واسع النطاق، أو عزلها على هيئة "خلايا مدفونة داخل كتلة النفايات، بينما يمكن التخلص من المكون الكبير الحجم المستنفد منه الكبريتيدات كنفايات خاملة أو استخدامه في الموقع أو خارجه.

٣٧ - وفي بحث نشر مؤخرا، قام Humber (١٩٩٥) بتحليل العلاقة بين استعادة الكبريتديات (البايرايت والبلروتايت)، وتولد الأحماض، وتقديرات التكلفة التشغيلية/ الاستثمارية لإعادة التجهيز. وقد تنوولت بالبحث عدة تقنيات لتجهيز المعادن من حيث قدرتها على فصل الكبريتيدات المولدة للأحماض من المخلفات الصناعية الحالية وتوليد مكون مستنفد منه الكبريتيدات ومكون صغير الحجم ثري بالكبريتيدات. وشملت الطرق التي تناولها البحث الفصل بالجاذبية (جهاز التركيز بالطرد المركزي، المنضدة الهزازة، جهاز التركيز اللولبي)، والتعويم، والفصل المغنطيسي، والتصنيف الدوامي. وقد أجريت اختبارات لهذه الطرق على عينات مستمدة من ثلاثة مناجم. وفحصت أيضا مركزات الكبريتيدات من حيث قيمتها التجارية[٢]. وقد فصلت تماما من كل عينة من العينات الثلاث المعادن المحتوية على كبريتيدات، وكانت موجودة بتركيزات منخفضة بدرجة كافية تتيح (نظريا) إنتاج مركز كبريتيدي ذي حجم صغير. ولم تنتج أي من طرق الفصل بالجاذبية التي جرى اختبارها مخلفات غير متفاعلة (خالية من القدرة الصافية على توليد الأحماض). وكانت طريقة التعويم أكثر نجاحا، وإن كان هذا يعكس فيما يبدو الى حد ما الطابع البسيط لهذه التقنية المعدنية ودقة الحجم الغالبة على توزيع الكبريتيدات. ولم تؤد إعادة التجهيز بطريقة التعويم الى تخفيض القدرة على توليد الأحماض في الجزء المستنفد منه الكبريتيدات فحسب، بل إنها خفضت أيضا تركيز فلزات أخرى مهمة من الناحية البيئية، مثل الكادميوم والنحاس والزنك.

٣٨ - وقد قدرت التكاليف التشغيلية والاستثمارية بناء على الاختبارات التي تولدت عنها أشد النفايات انخفاضا في إمكانية توليد الأحماض. وتراوحت التكاليف الاستثمارية من ٠٠٠ ١٣٠ دولار الى ٠٠٠ ٢٧٥ ١ دولار. وتراوحت تقديرات التكاليف التشغيلية من ٠,٥٠ دولار للطن الى ١,٣٥ دولار للطن. ولم تتعرض الدراسة للتكاليف التشغيلية أو الاستثمارية القائمة، وهذه التكاليف الإضافية لا يمكن أن توضع بأكملها في هذا السياق. بيد أن هناك أمثلة أخرى لتنفيذ هذا النهج على مستوى المنشأة، وإن اقتصر ذلك على المواقع العاملة ولا يوجد في سياق إعادة معالجة النفايات القديمة. وقد أنتجت شركة "The Magma Copper Company" منتجات بايرايت في عمليتها المسماة "The Superior Mine" عن طريق تمرير المخلفات من دورة النحاس عبر دورة إضافية للتعويم، مما يولد ناتجا من المخلفات أقل قابلية للتفاعل، بالاضافة الى ناتج من البايرايت الناعم النقي تقريبا ومركز من البايرايت الخشن (٤٥-٤٧ في المائة حديد، ٤٨-٥٠ في المائة كبريت (وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة، ١٩٩٤ 'أ'. وقد بلغ المباع شهريا من منتجات البايرايت في عام ١٩٩٤ حوالي ٥٠٠ طن، أي ما يمثل ٩٠-٩٥ في المائة من سوق الولايات المتحدة (وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة، ١٩٩٤ 'ب'). بيد أن هذه الحالة تضمنت توليد نواتج بايرايت صالحة للبيع لأن الركاز (أ) وصلت فيه نسبة البايرايت الى ٢٥ في المائة، و (ب) كان محتويا على شوائب قليلة. وهذان العاملان قد يجعلان هذا الراسب فريدا نسبيا، وبالتالي قد يكون نقل هذا النهج الى عمليات أخرى أكثر صعوبة مما قد يبدو لأول وهلة. وكما ذكر أعلاه، فإن الحافز الدافع الى إنتاج البايرايت لم يكن حافزا بيئيا بحتا (وإن كانت الشركة تعترف بالفوائد الناجمة عن تخفيض الصوف المتولد من الصخور الحمضية) بل كان هو الطلب على ذلك المنتج - فحينما لم يكن هناك طلب على البايرايت، لم يحدث استخلاص له. وهذا ينبه الى صعوبة التعامل مع المعادن المماثلة للبايرايت من حيث أن مكانته أو قيمته السوقية ضئيلة أو منعدمة.

باء - إعادة التجهيز عن طريق النض الحيوي

٣٩ - تستعمل طريقة النض بوساطة البكتريا في معالجة الذهب الحراري الذي لم يكن ممكنا استعادته من قبل بسبب ارتباطه بلوريا بالبايرايت، الذي تستطيع البكتريا تذويبه بسهولة. وأوجه التقدم الذي تحقق في مجال التكنولوجيا الحيوية، مقترنة بالمزايا البيئية والاقتصادية التي يبدو أن تكنولوجيات النض البكتيري تمتاز بها على العمليات الأخرى التقليدية الأكبر حجما التي تستلزم قدرا أكبر من الكثافة الرأسمالية وتسبب قدرا أكبر من التلوث، تبشر باحتمالات حدوث تغيرات كبيرة في صناعة المعادن. وفي آذار/مارس ١٩٩٤، أفاد Newmont Gold بأن الاختبارات الميدانية أكدت الصلاحية الاقتصادية لعملية مسجلة البراءة لاستخدام النض الحيوي في استعادة الذهب من المواد الكبريتيدية المنخفضة الرتبة التي لم تكن تعتبر من قبل ركازا اقتصاديا (Brewis، ١٩٩٥). وتستخدم هذه المنظومة البكتريا Thiobacillus ferrooxidans والبكتريا Leptospirillium ferrooxidans في أكسدة الكبريتيدات الحاملة للذهب الموضوعة على لوح للنض التكويمي، ويتبع ذلك النض بواسطة مركبات السيانيد أو ثيوكبريتات الامونيوم لفصل الذهب. وعلى الرغم من البطء الذي تتسم به حركية التفاعل، فإن هذا النهج نهج مجد اقتصاديا نتيجة لانخفاض تكلفة المنظومات البيولوجية المستخدمة. وقد اقتصر التطبيق التجاري لطريقة النض الحيوي حتى الآن على عمليات استعادة الذهب واليورانيوم والنحاس والنيكل؛ واقترح استخدامها أيضا في النض التكويمي لركازات الزنك المنخفضة الرتبة.

جيم - البدائل للسيانيد في استعادة الذهب

٤٠ - على الرغم من أن عملية السيندة هي الطريقة الرئيسية المستخدمة في استعادة الذهب في العمليات النظامية (١٠٠ في المائة من الأنشطة النظامية لانتاج الذهب في جنوب أفريقيا) (Adams، ١٩٩٧)، فإن السيانيد ليس العامل الوحيد الذي ينطوي على إمكانية الاستخدام في عملية النض اللازمة لاستعادة الذهب. وتشمل البدائل الممكنة الأخرى الثوسيانات (Adams، ١٩٩٦) والمذيبات الهالوجينية، مثل غاز الكلور، وهيبوكلوريت الصوديوم، واليود، والبروم (Ramadorai، ١٩٩٤). ولا يمكن اعتبار أي من هذه المواد بديلا عاما للسيانيد، ولكنها قد تكون مفيدة في معالجة أنواع معينة من الركازات أو النفايات المحتوية على ذهب التي لا يوجد وقت التخلص منها خيار مجد اقتصادياأو ممكن تقنيا لمعالجتها. وتدل المؤشرات على أنه بالنسبة للركازات غير الحرارية، لا تمتاز المزيبات الهالوجينية عن السيانيد من حيث الكفاءة أو فعالية التكلفة. ولكن يمكن أن يوجد للمذيبات الهالوجينية مجال أوسع للتطبيق في معالجة الركازات والنفايات الحرارية، وإن كان هذا لا يزال بحاجة الى مزيد من التأكيد.

عاشرا - النهج المتصلة بالاستغلال وإعادة التجهيز والتخفيض عند المصدر

ألف - التخفيض عند المصدر في عمليات التعدين، وتجهيز المعادن والمتالورجيا الاستخلاصية

٤١ - التكنولوجيا النظيفة هي عنصر لا يتجزأ من عناصر تقليل النفايات إلى الحد الأدنى ومنع التلوث (التخفيض عند المصدر) وغالبا ما تعتبر مرادفة لهما. وقد استخدمت بصفة رئيسية، وفي الواقع استحدثت،

في صناعات التحويل. وعلى النحو الأمثل، ينبغي لدى تقييم "نظافة" تكنولوجيا ما، أن يؤخذ في الاعتبار الأداء البيئي لموردي المراحل الأولى ومستعملي نواتج المراحل الأخيرة ومتعهدي تصريف المنتجات، رغم أن ذلك يكون تحديده من الصعوبة بمكان في كثير من الأحيان وتقصر حدود هذا التقييم في الممارسة العملية إلى حد بعيد على العملية المعنية.

٤٢ - ويتبع عدد من الاستراتيجيات العامة أو الشاملة لجميع القطاعات في نظام إدارة شامل لتسهيل منع التلوث وهي: (أ) تحسين عمليات المصانع، (ب) تغيير تكنولوجيا التحويل، (ج) إعادة التدوير، الاستعادة، وإعادة استعمال منتجات النفايات، (د) تغيير المواد الخام، (هـ) إعادة تشكيل المنتجات.

٤٣ - وفي ظروف تعدين وتجهيز المعادن البخسة والثمينة، يكون للاستراتيجيات (أ) و (ب) و (ج) أكثر التطبيقات وضوحا، بالرغم من أنه تتوافر أحيانا القدرة على تغيير طابع المدخل التحويلي (أي الاستراتيجية (د))، على سبيل المثال بممارسات تعدينية انتقائية وأكثر دقة ["مناسبة من ناحية الحيز"] (Almgren وآخرون، ١٩٩٦). أما الاستراتيجية (هـ) فهي ذات أهمية مباشرة قليلا بالنسبة لصناعة التعدين ولذلك أغفلت في هذا التقرير.

٤٤ - وحيث أنه يوجد عدد من التكنولوجيات النظيفة المتنافسة، يمكن ترتيبها وفقا لدرجة تخفيض الأخطار المرتبطة بنواتجها من النفايات، وتكاليف المعالجة/التخلص، والمسؤولية في المستقبل، والأخطار المتصلة بالسلامة والتكاليف المادية للمدخلات. ووسائل تقدير مدى نظافة تكنولوجيا معينة تعتمد إلى حد بعيد على تقييم نوعية استخدام الموارد وأثرها باستخدام منهجيتي الدراسة الاستقصائية للدورة العمرية وتقييم الدورة العمرية.

٤٥ - وبالرغم من أن منافع تقليل النفايات إلى الحد الأدنى متنوعة بشكل واسع النطاق، فغالبا ما يكون هناك مثبطات مؤسسية قد يلزم التغلب عليها، من قبيل عدم التيقن في مجال الإدارة بسبب عدم التأكد من عوائد الاستثمار، واحتمالات الوقت الضائع بسبب تعطل الإنتاج، والمشاكل المتعلقة بنوعية المنتجات وتسرب المعلومات المتصلة بحقوق الملكية إلى مستشاري تخفيض النفايات. وأفضل سبيل للتغلب على تلك العقبات هو إشراك الإدارة العليا والمتوسطة، وإدارة المصانع والعاملين بالمصانع (أي الهيكل الكامل للشركة) (Haas، ١٩٩٥).

باء - من إدارة النفايات إلى منع النفايات والعودة

٤٦ - إن الميل الراهن في قطاع التعدين نحو التخفيض عند المصدر يضعفه حاليا قضايا من قبيل تلك المحيطة بالمعادن المنخفضة القيمة وإن كانت ضارة بيئيا والموجودة في تجمعات ركازات المعادن البخسة والثمينة، كالزرنيخ والبايرايت على سبيل المثال. والزرنيخ هو مثال نموذجي إلى حد كبير للمشاكل والمسائل المرتبطة بالملوثات دون الاقتصادية والسامة التي تشيع مصاحبتها للتجمعات المعدنية القيمة. وينتج بصورة

أساسية كناتج ثانوي خلال إنتاج غيره من المعادن الأهم، من قبيل النحاس، والرصاص، والزنك، والذهب، والفضة، والقصدير. ويستعاد ثالث أكسيد الزرنيخ من الرتبة التجارية من صهر أو تحميص الركازات أو المركزات المعدنية غير الحديدية فيما لا يقل عن ١٨ بلدا (Broad، ١٩٩٧). ولا تبدو الفرص السوقية في المستقبل مبشرة بالخير بالنسبة للزرنيخ، حيث يجري الاستعاضة عن سبائك الرصاص - الزرنيخ في البطاريات بما يكافئها من سبائك الرصاص - الكلسيوم وتتزايد الضغوط على الاستخدامات المنخفضة التقنية من قبيل معالجة الأخشاب.

٤٧ - والكثير من تكنولوجيات المعالجة التي استحدثت للتخلص المأمون من النفايات الخطرة لا يمكن استخدامها في حالة النفايات المعدنية الملوثة بالزرنيخ. وللتعويض عن ذلك يجري استحداث مسارات أخرى ممكنة تتضمن:

(أ) "تكنولوجيا التثبيت المعدني التخليقي": المعالجة بهذه التكنولوجيا ترسب المعادن أو تحولها إلى أشكال غير متطايرة، وبعد ذلك تضيف كيميائيات "تشكيلية" مناسبة بحيث تتكون خلال مرحلة التحول المجموعة التعدينية المخلقة المرغوبة. (White and Tour، ١٩٩٦). وقد استخدمت هذه التكنولوجيا لتثبيت الغبار المنصرف للزرنيخ (المحتوي على ثالث أكسيد الزرنيخ) في شكل معدن قليل الذوبان من نوع الأباتايت (كا$_{٥}$ (زا٤)$_{٣}$ فل)؛

(ب) "زرنيخات الحديديك": تجرى منذ عدد من السنوات البحوث على الترسيب في درجات الحرارة العالية للزرنيخ المذاب كزرنيخات حديديك متبلورة ثابتة (انظر، على سبيل المثال، Swash and Monhemius ١٩٩٤، والمراجع المذكورة في ذلك البحث). وتولد زرنيخات الحديديك بإذابة مركبات زرنيخ (ثالث أكسيد الزرنيخ في العادة (Van Weert and droppert ، ١٩٩٤))، يلي ذلك تحويلها إلى الإسكوروديت المتبلور (ح زا٤. ٢ يد$_{٢}$ أ) باستخدام محاليل النترات (أو الكبريتات) الحمضية الحاملة للحديد في درجات حرارة تتراوح من ١٤٠° م إلى ١٦٠° م؛

(ج) "الإدخال في أخباث السلكات": تشمل بدائل تكوين أطوار معدنية قليلة الذوبان إدخال الزرنيخ في أخباث السلكات. وقد أوضحت البحوث أنه يمكن إدخال ما يصل إلى ١٠ في المائة من الزرنيخ في أخبث السلكات "الزجاجية"، مع تحرير كمية منخفضة جدا من الزرنيخ خلال النض التالي لذلك (Machingawuta and Broadbent، ١٩٩٤).

٤٨ - وبالرغم من أوجه التقدم الحديثة هذه، مازالت مسألة استعادة الزرنيخ ومعالجته والتخلص منه مسألة لم تحل بعد. ويستبعد انعدام الأسواق للمنتجات الثانوية للزرنيخ الحوافز المالية لاستعادته (رغم أن الاستعادة غالبا ما تتحقق بشكل عرضي خلال عملية التجهيز)، والآثار المالية المترتبة على المسؤولية غير محددة بشكل كاف لتعمل كحافز بديل. وحيثما لا يوجد سوق لنوع معين من النفايات أو لناتج ثانوي معين وحيث يكون وجود الملوث في المركبات المغذية للعمليات لا يمكن تفاديه، يكون استحداث حل تكنولوجي

"نظيف" بحق أمرا مستحيلا. والبدائل هي: (أ) عدم استغلال الركازات المحتوية على الفلزات والمعادن المسببة للمشاكل والتي لا يوجد سوق لها، أو (ب) الموافقة على أن استعادة العناصر المسببة للمشاكل وفصلها ومعالجتها بشكل فعال قبل التخلص منها هو الخيار الأمثل. ومن الناحية الواقعية نجد أن الحالة الأخيرة هي التي ستسود، بالرغم من أنه كانت هناك حالات من عمليات الاستخراج التعدينية المقترحة رفضت على أساس وجود أخطار غير مقبولة بشكل عام (المنجم العالمي الجديد على حافة منتزه بيللوستون الوطني، الولايات المتحدة)، الذي قد يشكل سابقة في المستقبل بالنسبة للقيود على التعدين عند أو قرب مواقع "حساسة" غير "محمية" بالفعل من هذا النشاط. وعلى أقل القليل، فالطابع غير المستساغ للقيود على التعدين قد يساعد على تشجيع استعادة المعادن وأشباه المعادن غير المستهدفة وغير الاقتصادية ومعالجتها قبل التخلص منها إذا تقرر أن ذلك هو أفضل خيار بيئي على أساس دراسات علمية مستفيضة.

حادي عشر - الاستنتاجات: تحقيق أقصى فعالية للتخفيض عن المصدر وإعادة التجهيز والاستقلال

٤٩ - من الصعوبة بمكان وصف أحداث التكنولوجيات بعبارات مطلقة نظرا لأن الأدوات اللازمة التي ستستخدم في التقييمات من قبيل "تقييم الدورة العمرية" لم يكتمل وضعها بعد. كما أن الآثار المترتبة على الاستغلال وإعادة التجهيز بالنسبة للتسمم البيئي لم تفهم بعد فهما تاما، بالرغم من أن أوجه التقدم في تقييمات التسمم البيئي الخاصة بكل موقع على حده قد خفضت عدم التيقن المرتبط ببعض الإجراءات العلاجية في مواقع التعدين (Pascde، ١٩٩٤)؛ (Greene and Barich، ١٩٩٤). ومع ذلك، فهناك ضغط متزايد على المشتغلين بإدارة النفايات لاستحداث نهج مستدام ولإدماج الاستراتيجيات ذات الصلة لتحقيق خيار عملي بأكبر درجة بالنسبة للحماية البيئية (Barton وآخرون، ١٩٩٦). ومن الناحية الواقعية سيكون هناك على الدوام ضرورة للاستخدام الموازي للتخفيض عند المصدر، وإعادة التجهيز، والاستغلال، والمعالجة، والحلول العلاجية المنخفضة التقنية في قطاع التعدين. وكل من هذه الأنشطة له موضع ملائم، وبالرغم من أنه يمكن توقع تغير التوازن القائم بمرور الزمن فلن يختفي أي منها تماما. وكثير من الوكالات - الحكومية والخاصة المحتملة التي يمكن أن تعمل في علاج مواقع المناجم (وبالتالي في إعادة التجهيز) تعترض سبيلها عقبات تنظيمية ومؤسسية من قبيل قضية المسؤولية. وهذه لا تعوق العلاج أو الإصلاح المادي فحسب بل أيضا تميل إلى تقييد استثمار رأس المال في استحداث تكنولوجيا مبتكرة. (Durkin، ١٩٩٥). وعلى ذلك فالسؤال هو كيف يمكن استخدام التنظيم لتعزيز إعادة تجهيز نفايات صناعة التعدين واستغلالها على نحو أكثر فعالية من النهج المنفذة حاليا.

٥٠ - ويمثل علاج مواقع المناجم القائمة فرصة هامة لاستحداث تكنولوجيات جديدة ومبتكرة لإعادة تجهيز نفايات المناجم ولوضع سياسة عامة وإجراءات تقنية لتعزيز استغلال النفايات الثانوية لا الموارد الأولية، حيثما أمكن ذلك. وقد أدى تزايد القيود على استغلال الموارد الأولية إلى رفع مرتبة النفايات لتصبح موارد محتملة هي نفسها. وقد تقوم المعايير التنظيمية ومعايير النوعية استعمال التكنولوجيات المبتكرة،

وقد يكون هناك أيضا حواجز تقنية أمام إعادة تجهيز بعض مواد النفايات المعقدة. وقد تكون المعلومات المتصلة بتكلفة وأداء التكنولوجيات المبتكرة محدودة مما يولد بدوره نقصا في الحوافز على الاستثمار في هذه التكنولوجيات. ويجب أن تنافس أحدث التكنولوجيات عددا متزايدا من تقنيات التثبيت (تكنولوجيا التثبيت المعدني التخليقي). وبالرغ من أن لهذه التكنولوجيات عيوبها منقبيل الافتقار إلى المصداقية، وأوجه القلق المتصلة بثباتها في الأجل الطويل، فقد تكون، مع ذلك، هي الحل العملي الوحيد للمعادن/الفلزات ذات القيمة السوقية القليلة أو المعدومة.

الحواشي

(١) دون هذا الحجم، تتزايد صعوبة التناول أو الفصل أو كليهما.

(٢) جرت الاستعاضة عن البايرايت بالكبريت الطبيعي في إنتاج حامض الكبريتيك (Berkowitz، ١٩٩٨)، مما يشير الى أن بيع الكبريتيد قد لا يكون مجديا تجاريا.

المراجع

Adams, M.D. (1996). Environmental impact of cyanide and non-cyanide lixiviants for gold. New Developments in the Extractive Metallurgical Industry (Johannesburg), 23 February 1996.

_____ (1997). Group leader: process and environmental chemistry. Randburg, South Africa. Personal communication.

Aljaro, B., et al. (1991). Untreated tailings effluent: alternative use. Mining Journal Environment Supplement, 20 September 1991, pp. 16 and 17.

Allen, D. T. and K. S. Rosselot (1997). Pollution Prevention for Chemical Process. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Almgren, G., T. Almgren and U. Kumar (1996). Just-in-time and right-in-space. Minerals Industry International (September), pp. 26-29.

Ayen, R. J. (1994). A business and market assessment of waste treatment technologies. Journal of Metals (May 1994), pp. 30-34.

Barton, J. R., D. Dalley and V. S. Patel (1996). Life cycle assessment for waste management. Waste Management, vol. 16, Nos. 1-3, pp. 35-50.

Berkowitz, J. B. (1988). Environmental cost considerations and waste minimization in new plant design and process optimization. In Hazardous Waste: Detection, Control, Treatment, R. Abbou, ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

Brewis, T. (1995). Metal extraction by bacterial oxidation. Mining Magazine (October 1995), pp. 198-206.

Broad, A. (1997). Arsenic down but not out. Metal Bulletin Monthly, No. 315 (March 1997), pp. 54-57.

Crittenden, B. and S. Kolaczkowski (1995). Waste Minimization. A Practical Guide. Rugby, United Kingdom: Institution of Chemical Engineers.

Durkin, T. V. (1995). New technology is needed to manage sulfide mine waste. Mining Engineering (June 1995), pp. 507 and 511.

Eaton, P. B., A. G. Gray, P. W. Johnson and E. Hundert (1994). State of the Environment in the Atlantic Region. Environment Canada.

Greene, J. C. and J. J. Barich (1994). Biological and chemical evaluation of remediation performed on metal bearings soils. In Tailings and Mine Waste ’94. Rotterdam: Balkema.

Haas, C. N. (1995). Waste elimination options. In Hazardous and Industrial Waste Treatment, C. N. Haas and R. J. Vamos, eds.

Hayes, P. C. (1993). Process Principles in Minerals and Materials Production. Australia: Hayes Publishing Company.

Heiskanen, K. and L. Yao (1992). Finely ground waste rock as an adsorption material for anionic collectors. Minerals, Metals and the Environment, M. Anthony ed. London: Elsevier.

Hodges, C. A. (1995). Mineral resources, environmental issues and land use. Science, No. 268, pp. 1305-1312.

Humber, A. J. (1995). Separation of sulphide minerals from mill tailings. In Proceedings, Sudbury ’95, Conference on Mining and the Environment, Sudbury, Ontario, 28 May-1 June 1995.

Klimpel, R. R. (1995). Technology trends in forth flotation chemistry. Mining Engineering (October), pp. 933-942.

Kovalick, W. W. (1993). Trends in implementing innovative technologies in the U. S. In Contaminated Soil ’93, vol. II, F. Arendt, G. J. Annokkeé F. Bosman and W. J. vand den Brink, eds. Kluwer Academic Publishers.

Machingawuta, C. and C. P. Broadbent (1994). Incorporation of arsenic in silicates slags as a disposal option. Institution of Mining and Metallurgy Abstract and Index, No. 103 (January-April 1994), pp. 1-8.

Mitchell, P. B. (1990). Reclaiming derelict metalliferous mining land. Land and Minerals Surveying, vol. 8, No. 1, pp. 7-17.

Pascoe, G. A. (1994). Role of ecological risk assessment in reducing uncertainties in remedial decisions at mining waste sites. In Tailings and Mine Waste ’94. Rotterdam: Balkema.

Ramadorai, G. (1994). Halogen solvents in precious metal ores processing. In Reagents for Better Metallurgy, P. S. Mulukutla, ed. Society for Mining, Metallugry and Exploration, Inc.

Redhead, F. J. (1996). Waste management: a materials management/product stewardship approach. CIM Bulletin, vol. 89, No. 999, pp. 47-51.

SETAC (1993). Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice.

Swash, P. M. and A. J. Monhemius (1994). Hydrothermal precipitation from aqueous solution containing iron (III), arsenate and sulphate. In Proceedings, Hydrometallurgy '94, Cambridge, United Kingdom, 11-15 July 1994.

Toivola, M. and A-P. Toivola (1997). Method for producing a building material from a mixture of unscreened thermoplastic and mineral. United States Patent, No. 5676895.

USEPA (1994a). Innovative Methods of Managing Environmental Releases at Mine Sites. Untied States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Special Waste Branch. Washington, D.C.

_____ (1994b). Treatment of Cyanide Heap Leaches and Tailings. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Special Waste Branch. Washington, D.C.

Van Weert, G. and D. J. Droppert (1994). Aqueous processing of arsenic trioxide to crystalline scorodite. Journal of Metals (June 1994), pp. 36-38.

Warhurst, A. C. and G. Bridge (1996). Improving environmental performance through innovation: recent trends in the mining industry. Minerals Engineering, vol. 9, No. 9.

White, T. and I. Toor (1996). Stabilizing toxic metal concentrates by using SMITE. Journal of Metals (March), pp. 54-57.

Wills, B. A. (1997). Mineral processing Technology. Sixth edition. Butterworth-Heinemann.

Zouboulis. A. I., K. A. Kydros and K. A. Matis (1993). Arsenic (III) and arsenic (V) removal from solution by pyrite fines. Separation Science and Technology, vol. 28, Nos. 15 and 16, pp. 2449-2463.