السلطة الدولية لقاع البحار

ISBA/12/C/3 (Part II)

المجلس

Distr.: General
27 June 2006
Arabic
Original: English

الدورة الثانية عشرة
كينغستون، جامايكا
7-18 آب/أغسطس 2006

نموذج استكشاف وتحديد مناطق التعدين المطبق في اختيار مواقع الطبقات القشرية من المنغنيز الحديدي الغني بالكوبالت والكبريتيدات المتعددة الفلزات

الجزء الثاني: الكبريتيدات المتعددة الفلزات

إعداد الأمانة العامة*

أولا - مقدمة

1 - المعروف أن قاع المحيطات يضم ما يربو على 300 من المواقع ذات الفوهات الحرارية المائية ومناطق التمعدن المرتبطة بها. ويحتوي نحو 100 موقع منها على مادة الكبريتيدات المتعددة الفلزات (انظر الشكل 1 والجدول1)[(1)]. ومع أن أشد سمات هذه المواقع بروزا هي ارتفاع حرارتها التي تصل إلى 350 درجة مئوية وبينما تنفث الفتحات دخانا أسود، غير أنه عُثر أيضا على تشكيلات واسعة من أنواع التمعدن. ويقع زهاء 40 في

* هذه الورقة ملخص لدراسة أكثر تفصيلا أعدها الاستشاريان مارك هاننغتون وتوماس مونوكس من جامعة أوتاوا، كندا. وسوف تتاح الدراسة الكاملة لأعضاء المجلس على موقع الشبكة العالمية.

(1) لتسهيل الاستنساخ، حذفت الأرقام والجداول من هذه الوثيقة الموجزة.

120706 110706 06-40538 (A)
0640538

المائة من المواقع المعروفة في المنطقة. ولعدد من الأسباب، القانونية والفنية على السواء فرضت قيود مؤخرا على استكشاف الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحار لأغراض تجارية باستثناء الاستكشاف داخل حدود المناطق الاقتصادية الخالصة (الرسم 2). وتبحث هذه الورقة معايير تخصيص قطع الامتياز المستأجرة للاستكشاف في المنطقة وما يمكن اعتماده من نماذج في هذا الصدد. كما تورد المبررات العلمية لاختيار مناطق التنقيب ولوضع جدول زمني للتخلي أثناء مرحلة الاستكشاف عن مناطق الامتياز.

2 - وتقدم إيضاحات عملية عن توزيع القطع المستأجرة في المناطق المعروف أنها تحتوي على مادة الكبريت، وذلك باستخدام "الكتل المتتاخمة" و "مجموعات الكتل المتتاخمة". وبناء على طائفة من المعايير والإجراءات المحتمل اعتمادها لاختيار هذه المناطق فإننا نعقد مقارنة بين نموذجين لتوزيع تراخيص الاستكشاف في 32 منطقة مختلفة من المعروف أنه اكتُشف فيها ما لا يقل عن إحدى حالات وجود الكبريتيدات المتعددة الفلزات، ومن هذه المناطق 12 موقعا في المنطقة (الشكل 3). أما صلاحية نموذجي الاستكشاف، من حيث فعاليتهما في اختيار المناطق المعروفة باحتوائها على الكبريتيدات المتعددة الفلزات (والتخلي عن المناطق التي لا تحتوي عليها) فهي تخضع للبحث على الصعيدين العالمي والإقليمي وعلى صعيد المواقع ذاتها، بدءا من مرحلة التنقيب وانتهاء باختيار أفضل القطع التي ينبغي الاحتفاظ بها عند انتهاء الاستكشاف. ويأخذ النموذجان ما يلي في الاعتبار:

(أ) القيود الجيولوجية المفروضة على المناطق الواعدة بالتنقيب؛

(ب) التوزيع المعروف للكبريتيدات المتعددة الفلزات؛

(ج) خصائص كل حالة من حالات وجود الكبريت. كما يمكن اختبار نماذج أخرى يجوز أن تكون أكثر ملاءمة وذلك باستخدام البيانات المعروضة في الورقة.

3 - وتتسم الكبريتيدات المتعددة الفلزات بعدد من الخصائص الهامة التي تختلف اختلافا كبيرا عن خصائص القشور الأرضية والعقيدات، وذلك من حيث موقعها الجغرافي وتوزّعها وتواصلها، وهذه أمور يجب أن تؤخذ في الاعتبار لدى اختيار مناطق الاستكشاف. وفي حين أن أبعاد كمية

الكبريتيدات تتراوح بين لا أكثر من بضع عشرات من الأمتار إلى مئات الأمتار، فإن القشور تغطي مساحات أوسع في قاع البحار وهي أكثر امتدادا (مسافة كيلومترات: Hein et al., 1999 على سبيل المثال). وتقتضي هذه الاختلافات اعتماد نهج مختلفة جذريا في عمليات الاستكشاف.

4 - ويستند التحليل الوارد في الورقة إلى ما يتوافر حاليا من معارف عن كميات الكبريتيدات المتعددة الفلزات وطريقة توزّعها. ولم تتخذ أي مواقف بشأن القيود الاقتصادية أو الفنية المحتمل فرضها في مجال استكشاف الكبريتيدات المتعددة الفلزات في المواقع قيد البحث. ولا يتطرق النموذجان المقترحان هنا إلا إلى مرحلة الاستكشاف لا إلى مرحلة استخراج المعدن بحد ذاته ولا إلى تقدير المساحات الدنيا للقطع اللازمة للاستغلال لعدة سنوات. ولا تشكل الأمثلة المستخدمة في هذه الوثيقة على قطع الامتياز المستأجرة المحتملة تقييما اقتصاديا لحالات محددة من وجود الكبريتيدات المتعددة الفلزات أو مناطق محددة من قاع البحار. ويجوز أن تُذكر الحالات التي تستوفي المعايير التجارية، غير أنه لا يجري النظر في تقييماتها الاقتصادية أو استنتاجها. ويتمثل الغرض من جميع الأمثلة المذكورة في الإيضاح لا غير. فلا تعني هذه الأمثلة قطعا أن الموارد التي يمكن استغلالها تجاريا هي في الواقع موجودة حاليا في منطقة ما. أما المعلومات المقدمة في هذه الوثيقة، بما في ذلك سماكة منطقة ما من تكوينات الكبريت المتناخمة أو كثافة الكمية أو مستوى جودة المعادن، أو أي خصائص أخرى معدنية أو فلزية، فلا يمكن استخدامها كمصدر معلومات يُرجع إليه، ولا يمكن استخدامها إلا كأمثلة نظرية وكمعلومات على قدر ما تبرر هذه الأمثلة. وأي إشارة إلى مشاريع تجارية تستكشف الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحار لا تستهدف بدورها سوى الإيضاح لا دعم أنشطة أو برامج هذه الشركات أو التوصية باعتماد طرائقها كنماذج من أجل تنفيذها في المنطقة. والاتساق مع الاتفاقية أو مع مشروع القواعد التنظيمية المقترح المتعلق باستخراج واستكشاف الكبريتيدات المتعددة الفلزات والطبقات القشرية من المنغنيز الحديدي الغنية بالكوبالت في المنطقة (ISBA/10/C/WP.1/Rev.1*) لا يتم التطرق إليه إلا في تصميم نموذجي الاستكشاف.

ثانيا - المصطلحات

5 - لأغراض إعداد هذه الورقة وفي النموذجين المعروضين أدناه، استُخدمت المصطلحات التالية:

(أ) منطقة التنقيب - هي منطقة أولية يجوز أن تحتوي على الكبريتيدات المتعددة الفلزات أو منطقة مؤاتية لتكوين هذه الكبريتيدات ويمكن أن يخصص جزء منها للاستكشاف على النحو المحدد في مشروع القواعد. وفي الأمثلة الـ 32 الوارد مناقشتها في هذه الورقة، تُعرّف منطقة التنقيب اعتباطيا على أنها منطقة دون الخمس درجات في خمس درجات وتحتوي على حالة واحدة معروفة على الأقل من حالات وجود الكبريت أو على أي مؤشر إيجابي آخر على التمعدن. وفي الواقع، يمكن الكشف عن منطقة التنقيب استنادا إلى ما يسمح به فقط التكوين الجيولوجي، في غياب أي مؤشر على أي عملية للتمعدن.

(ب) منطقة الاستكشاف - وهي "منطقة ترخيص" أو مساحة حيازة داخل منطقة التنقيب تتضمن عدة قطع متتاخمة أو غير متتاخمة محجوزة للاستكشاف المتقدم. وهي عادة منطقة لا يتجاوز خط طولها الدرجة الواحدة وخط عرضها الدرجة الواحدة وتحتوي على الأقل على راسب واحد من رواسب الكبريت أو أي مؤشر إيجابي آخر على وجود عملية تمعدن. وفي النموذجين المعروضين هنا، تعادل مساحة منطقة الاستكشاف 100 قطعة تساوي كل منها 10 كم × 10 كم، وذلك على النحو المحدد في مشروع القواعد التنظيمية.

(ج) القطعة المستأجرة - هي جزء من منطقة الاستكشاف، تساوي نحو 10 كم × 10 كم ولا تتجاوز مساحتها 100 كم^2، على النحو المحدد في مشروع القواعد التنظيمية.

(د) المنطقة المؤاتية - وهي جزء من منطقة التنقيب يتسم بعدد من الخصائص الجيولوجية التي تعد ضرورية لتشكل الكبريتيدات المتعددة الفلزات. ولتحديد حدود المنطقة المؤاتية، يُستخدم عادة مؤشران رئيسيان وهما إثبات وجود نشاط تكتوني وحركة بركانية قوسية في قاع البحر. وهذان المؤشران لازمان عادة لدفع الدورة الحرارية المائية باتجاه قاع البحر حيث يمكن أن تتركز السوائل الحرارية المائية وتترسب المعادن. ويجوز أن

تحتوي المنطقة المؤاتية على الكبريتيدات المتعددة الفلزات أو على مؤشرات إيجابية أخرى تدل على حالة تمعدن، غير أن هذا الأمر ليس شرطا.

(هـ) المنطقة الأكثر وعدا بالتنقيب - منطقة يتم اختيارها لإجراء عمليات استكشاف متقدمة فيها وهي تحتوي عادة على حالة واحدة على الأقل من رواسب الكبريت. وهي بشكل عام في النماذج المعروضة أدناه، تمثل المناطق التي تحتوي على أكثر من حالة من حالات تواجد الكبريت.

(و) موقع الكبريت - هو جسم مميز من كتلة من الكبريتيدات المتعددة الفلزات (مدخنة أو هضاب على سبيل المثال)، أو مجموعة من هذه الأجسام الموجودة داخل منطقة محددة (حقل من المداخن، على سبيل المثال)، تكون عادة وإن ليس بالضرورة، مرتبطة بفوّهة حرارية مائية نشطة. وحينما تتكون هذه الكتلة من أكثر من جسم كبريتي، يعني ذلك أنها متواصلة أو متجمعة بعض الشيء (مجموعة من المداخن أو أشكال الهضاب داخل منطقة أصغر من المسافة التي تفصلها عن أقرب مجموعة أخرى، على سبيل المثال). وتحتوي أكثر المناطق وعدا بالتنقيب في أي منطقة امتياز على موقع واحد على الأقل.

6 - ولا تُميز هذه الورقة قانونيا أو فنيا بين "التنقيب" الذي لا ينطوي بالضرورة على حقوق حصرية على النحو المحدد في المشروع مقابل "الاستكشاف" الذي يمنحها. فقد يجري التنقيب في عدة مناطق، يمكن توزيع مجموعة فرعية منها في إطار خطة عمل للاستكشاف، على نحو ما توضحه النماذج الواردة أدناه. ولا يستخدم مصطلح "رواسب" في هذه الورقة، إلا عندما يشار إلى كتل من رواسب الكبريت التي استخرجت برا بطريقة اقتصادية. والغرض من ذلك هو تجنب أي لبس بشأن ماهية رواسب في قاع البحار. وباللغة العلمية، يسري مصطلح "رواسب" بأشكال مختلفة على طائفة متنوعة من التكوينات وهي ركام الكبريت أو حقول برمتها من الفوهات أو على مناطق جغرافية بأكملها.

7 - ويتبع تعريف المصطلحات الأخرى التي استخدمت في هذه الورقة تحديد المصطلحات الواردة في مشروع القواعد التنظيمية المتعلق بالتنقيب عن الترسيبات الضخمة للكبريتيدات المتعددة الفلزات وقشور المنغنيز الحديدية الغنية بالكوبالت واستكشافها في المنطقة.

ثالثا - قاعدة البيانات

8 - المناطق التي وقع عليها الاختيار لتخضع للتحليل في هذه الوثيقة اختيرت من قاعدة بيانات شاملة عن كتل الكبريتيدات المتعددة الفلزات الموجودة في قاع البحار والنظم الحرارية المائية المرتبطة بها (Hannington et al., 2002, 2004). وتتوافر قاعدة البيانات في جزأين أُعد كل منهما على حدة لمستودع البيانات المركزي التابع للسلطة الدولية لقاع البحار في عام 2002 و 2004. الجزء الأول هو قاعدة بيانات رقمية تتضمن مواقع ومعلومات وصفية عن أكثر من 300 من حالات وجود الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحار والنشاط الحراري المائي. والثاني عبارة عن تجميع للتحليلات الجيوكيميائية المنشورة لما يربو على 600 2 عينة من الكبريتيدات المتعددة الفلزات الموجودة في قاع البحار (000 61 سجل). واختير من هذه البيانات 32 منطقة مؤاتية لاختبار نماذج توزيع رخص الاستكشاف، من ضمنها 12 رخصة في المنطقة.

9 - وتم استقاء البيانات المتعلقة بقياسات الأعماق التي استخدمت لتحديد مناطق التنقيب من الأطلس الرقمي المقسم إلى مربعات والقائم على قياس دقيقة واحدة من الدرجة لقاع البحار الذي يتضمنه المعجم الجغرافي للخريطة العامة لأعماق المحيطات (الخرائط العامة لقياسات أعماق المحيطات، المركز البريطاني للبيانات الأوقيانوغرافية، 2003). وعلى الرغم من أن المسافة الكنتورية العادية الواردة في المعجم الجغرافي للخريطة العامة لأعماق المحيطات تعادل 500 متر، فقد استخدمت مسافة كنتورية طولها 000 1 متر لتسهيل تعيين المواقع. كما يمكن رسم خرائط إقليمية مثيلة استنادا إلى البيانات العالمية التي وضعها سميث وساندويل Smith and Sandwell (1997). وهذه البيانات المقسمة إلى مربعات بقياس دقيقتين من الدرجة واستندت إلى قياس جاذبية الأرض عن طريق الساتل، تتميز بأنها تغطي مناطق من قاع البحار أكثر بعدا وأصعب بلوغا.

10 - كما اختيرت المناطق المؤاتية لتكوين الكبريتيدات المتعددة الفلزات من خرائط بقياس 5×5 درجات. وترد هذه الخرائط في التذييل 3. كما ترد في التذييل 4 خرائط توضح تطبيق نماذج الاستكشاف على هذا القياس وتُعرض مع كل خارطة شبكة بمسافات تبلغ 0.1 درجة في المناطق المعتبرة

منـاطق مؤاتيــة لتكـوين الكبريتيـدات المتعـددة الفلـزات ويـشملها التنقيـب. وتتناسب هذه الشبكة مع مساحات من المقطع تبلغ كل منها زهاء 10 كم× 10 كم (0.1 × 60 ميل بحري × 1.852 كم = 11.11 كم كمباعدة بين الشبكات). وتستخدم الدرجات العشرية لتسهيل تعيين مواقع الكبريت. وفي كل حالة يستند تعيين المكان الملائم للشبكة إلى عدد من المعايير المختلفة التي يجري مناقشتها في التذييل 2.

11 - وتجسد عدة أمثلة من خرائط مرسومة بمقدار 30 دقيقة × 30 دقيقة (مسافة كونتورية قدرها 100 متر) توزيع رواسب الكبريتيد في مناطق معينة، حيث تتاح معلومات أكثر تفصيلا عن قياسات الأعماق. وترد هذه الخرائط في التذييل 5. ويمكن استخدام هذه القياسات لتقليل الحجم الأولي لأي منطقة مؤاتية للترسب، لكن البيانات ليست متوفرة بالنسبة لكافة أرجاء المحيطات.

رابعا - نماذج لعملية اختيار القطع المستأجَرة

12 - تم اختيار المناطق المؤاتية لترسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات في 32 خريطة موضعية مقياسها 5 درجات على 5 درجات، اعتمادا على الخصائص الجيولوجية لكل منطقة حسبما يتبين في التذييل 2 (مثلا المناطق التي تضم قمما قشرية للمرتفعات وهضابا بحرية هامشية وجزرا بركانية وأحواضا متكونة بين الجزر البركانية واليابسة وغيرها). وتم بحث طائفة من الخصائص الفيزيائية للكبريتيدات المتعددة الفلزات، بما في ذلك التباعد بين الرواسب وأحجام المواد التي يرجح اكتشافها. ولمزيد من المعلومات، يُحال القارئ على التذييل 2 وإلى ورقات الاستعراض العام بشأن هذا الموضوع التي أعدها هانِنغتون وآخرون (1995، 2005)، وكذلك هرتزيغ وهانِنغتون (1995، 1999، 2000). ويمكن أيضا الحصول على معلومات إضافية من "الدراسة التقنية رقم 2 بشأن كتل الكبريتيدات المصمتة المتعددة الفلزات والقشور الحديدية المنغنيزية الغنية بالكوبالت: حالة الواقع وآفاق المستقبل"، الصادرة عن السلطة الدولية لقاع البحار. ولكن عملية الاختيار هذه محدودة إلى حد ما في ضوء المعلومات التفصيلية عن قياسات الأعماق في الخرائط المرسومة. ففي البيانات المتوافرة عن نطاق 000 1 متر المستمدة من الخريطة العامة لأعماق المحيطات، أُدرجت مناطق شاسعة تقع

على حافة التضاريس الجيولوجية المبينة (كجوانب المرتفعات مثلا) في عملية اختيار المناطق الأولية، وذلك بسبب عدم اليقين إزاء جيولوجيا قاع البحر هناك. ويمكن الاستعانة بقياسات الأعماق البالغة الدقة للمساعدة على اختيار المناطق المؤاتية، كما ترد مناقشته أدناه (انظر خامسا: النتائج).

13 - وفي التذييل 4، يُقدم عدد من النماذج التي توضح كيف يمكن تقليل عدد هذه المناطق إلى أدنى حد من قطع التنقيب المستأجَرة وفقا للجدول الزمني الذي يحدد نسبة المناطق التي يقترح التخلي عنها في مشروع القواعد التنظيمية (نسبة 50 في المائة من المنطقة المخصصة بعد خمس سنوات، ونسبة 75 في المائة بعد عشر سنوات، وحد أقصاه 25 منطقة بعد 15 سنة). وفي أي عملية استكشاف ناجحة، من المتوقع أن تتضمن 25 قطعة مخصصة كمية كافية من الكبريتيد المتعدد الفلزات لتستمر أعمال التنقيب عدة سنوات، وهو ما يُعرف هنا باسم التنقيب بأسعار تجارية معقولة لفترة تربو عن السنة. وقد اقتُرحت نماذج مختلفة لفترة تنقيب متعددة السنوات (مثلا ما يتراوح بين مليون واحد ومليوني طن لكل سنة)، بالرغم من أنه لم تُحدد الفئات أو أسعار الإنتاج أو نواح تقنية أخرى. وتقوم نماذج التنقيب المقترحة على مقارنات مع عمليات التنقيب برا عن المعادن التجارية. وهذا نهج معقول لأنه يتعين افتراض أن تكون أي عملية استكشاف في قاع البحر مستقبلا متنافسة مع عمليات التنقيب عن المعادن في البر.

14 - وقد تتواجد تراكمات يتعدى وزنها مليون طن ضمن أحد الرواسب الكبيرة (مثلا مشروع الارتفاع المتطاول وسط المحيط الأطلسي، والوادي الأوسط) أو على الأرجح في مواقع متعددة ضمن منطقة أوسع. وليس من المعروف حجم أي منطقة يُرجح أنها تحتوي على هذه الكمية من كتل الكبريتيد المصمت. وقد يتعلق الأمر بعشرين قطعة تحتوي كل واحدة منها على 000 50 طن، أو قطعتين تحتوي إحداهما على 000 500 طن، أو قطعة واحدة تحتوي على أكثر من مليون طن. لكن، واستنادا إلى مقارنات مع رواسب أحفورية، نقدر أن متوسط الكمية المستخرجة في القطعة الخاضعة لأوسع عمليات التنقيب، ومساحتها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات، لن يتعدى 000 500 طن (التذييل 2). ومن غير المتوقع ألا تحتوي سوى قطع قليلة من هذا الحجم على أكثر من مليون طن، ومن المتوقع ألا تحتوي الغالبية منها على أكثر من 000 50 طن. ومن بين

المواقع المائة التي تعرض لها هذه الدراسة، وباستثناء الحوض الرسوبي Atlantis II Deep، اتضح أن موقعين فقط هما اللذان ثبت من أعمال الحفر فيهما أنهما يحتويان على أكثر من مليون طن من كتل الكبريتيد المصمت. وكانت لعدد يقل عن خمسة مواقع أخرى أبعاد يمكن أن تكون متسقة مع وجود كميات تتعدى مليون طن. ومن ضمنها لا يوجد إلا موقعان في المنطقة (هما مرتفعات وسط المحيط الأطلسي ومرتفعات شرقي المحيط الهادئ).

15 - وقد بيّنت خرائط أماكن وجود الكبريتيدات في قاع البحر أنها تغطي مناطق لا يتجاوز قطر دائرتها كيلومترا واحدا، ومن غير المتوقع أن تمتد عمليات التنقيب عن الكبريتيدات إلى أبعد من هذه المساحة. ولا يتوقع بأي حال أن تبلغ الأبعاد المتوقعة لأي قطعة بمفردها تحتوي على هذا المعدن مساحة تتجاوز 10 كيلومترات × 10 كيلومترات. وفي معظم الحالات، لن تكون القطع التي قد تبدأ فيها عمليات التنقيب متتاخمة، وقد لا تكون متفرعة عن منطقة استكشاف أصلية واحدة. وربما قد يتعين اختيار القطع المراد استكشافها من عدة مناطق استكشاف غير متتاخمة توجد بين حيازتين أو أكثر. وتوضح الأمثلة التالية كيف يمكن توزيع القطع المتتاخمة وغير المتجاورة في مرحلة الاستكشاف.

ألف - نموذج الاستكشاف 1 (القِطع المتتاخمة)

16 - في هذا النموذج، اختيرت مناطق مؤاتية للترسب من الناحية الجيولوجية، وتحدّها أجزاء مرتفعة أو ملامح جيولوجية أخرى من حجم مماثل وتحتوي على الأقل على موقع يوجد فيه الكبريتيدات المتعددة الفلزات أو على مؤشر إيجابي آخر يوحي بظاهرة تمعدن أخرى، وذلك في كل منطقة مقياسها 5 درجات × 5 درجات (انظر التذييل 3). وتعادل كل منطقة مؤاتية حوالي 500 قطعة مساحة كل منها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات (000 50 كيلومتر مربع). وهذا يمثل 20 ضعف حجم المنطقة المخصصة في النهاية للاستكشاف في مشروع القواعد التنظيمية (20 × 25 قطعة = 500 قطعة).

17 - واختيرت منطقة استكشاف واحدة تضم 100 قطعة متتاخمة مساحة كل منها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات (000 10 كيلومتر مربع) لأعمال الاستكشاف المتقدم، على نحو ما قد يتحدد في خطة عمل ما. وفي

هذا النموذج، اختيرت منطقة استكشاف تضم على الأقل أحد المواقع المعروفة التي تحتوي على الكبريتيد في المنطقة المقدرة بمقياس 5 درجات في 5 درجات (الشكل 4 مثلا) ولا تمثل أزيد من نسبة 20 في المائة من منطقة التنقيب الأصلية. وفي كل حالة، اختيرت 100 من القطع التي تشهد أعمال التنقيب أكثر من غيرها (مرتبة في 25 قطعة مربعة) لتشمل أكبر عدد ممكن من رواسب الكبريتيد المعروفة. وهذا يحاكي عملية الاختيار المتوقعة في أي منطقة مؤاتية للترسب خلال المرحلة الأولى من الاستكشاف. وتُقلص هذه المنطقة إلى 50 قطعة متتاخمة بعد السنة الخامسة، ثم 25 قطعة متتاخمة بعد السنة العاشرة (الشكل 4).

18 - كما اختيرت منطقة واحدة تضم 25 قطعة متتاخمة مساحة كل منها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات (500 2 كيلومتر مربع) وتضم على الأقل منطقة واحدة من مناطق تواجد الكبريتيدات المعروفة بوصفها المنطقة المستأجرة الأخيرة ضمن منطقة الاستكشاف. وفي هذا النموذج، اختيرت قطع الاستكشاف المستأجَرة لتحتوي على أقصى عدد من رواسب الكبريتيد المعروفة في منطقة تمثل نسبة لا تتعدى 25 في المائة من منطقة الاستكشاف الأصلية (الشكل 4).

باء - نموذج الاستكشاف 2 (القِطع غير المتتاخمة)

19 - في هذا النموذج الثاني، قُسمت منطقة الاستكشاف إلى 4 مجموعات تضم كل منها 25 قطعة، وتحتوي كل مجموعة على منطقة واحدة من مناطق رواسب الكبريتيد المعروفة أو على مؤشر إيجابي آخر يدل على وجود نشاط حراري مائي في منطقة مجموع مساحتها 000 10 كيلومتر مربع (الشكل 5 مثلا). وخلال مرحلة الاستكشاف، سيتم التخلي عن أجزاء من كل مجموعة من القطع المتتاخمة في مراحل متعددة، بحيث يُترك في آخر الأمر 25 قطعة غير متتاخمة مساحة كل منها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات وتضم جميع رواسب الكبريتيد المعروفة في المساحة الأصلية البالغ مساحتها 000 10 كيلومتر مربع. ومع أنه لم يُنظر في المسألة ضمن هذا السياق، فلسوف يتعين اختيار أقصى عدد من القطع المستأجَرة في بعض المناطق من أكثر من منطقة استكشاف واحدة مساحتها 000 10 كيلومتر مربع. ولا يوجد ما يضمن صحة تحديد القِطع الواعدة بأكثر أعمال التنقيب

خلال مرحلة الاستكشاف، لكن من المعقول التوقع بأن يتمكّن المستكشفون من تطبيق المعايير المناسبة لاختيار أقصى عدد ممكن من القطع التي تحتوي على الكبريتيدات.

خامسا - النتائج

ألف - اختيار المناطق المؤاتية للترسب والمناطق المطروحة للاستكشاف

20 - من بين المناطق الـ 32 المقدرة بمقياس 5 درجات في 5 درجات، والتي تنظر فيها هذه الدراسة، تبلغ مساحة المنطقة المؤاتية لترسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات من الناحية الجيولوجية في المتوسط 000 55 كيلومتر مربع (الجدول 2). واختيرت مناطق من نفس الحجم تقريبا في 20 نموذجا من المناطق الوطنية الاقتصادية الخالصة وفي 12 نموذجا من المنطقة. والمناطق المؤاتية الواقعة في بعض المناطق الاقتصادية الخالصة أصغر حجما، بسبب قربها من اليابسة وعدد كبير من الجزر. وفي مناطق اقتصادية خالصة أخرى، تكون المناطق المؤاتية أكبر حجما، بسبب اختيار المناطق المتكونة بين الجزر البركانية واليابسة والبراكين ذات الشكل القوسي. ويقل التباين في حجم المناطق المؤاتية والمختارة من نماذج من المنطقة في العديد من المناطق الاقتصادية الخالصة بحيث يرجح أن تكون مراكز سلسلة جبال منتصف المحيط الممتدة في المنطقة أقل تعقيدا من الناحية الجيولوجية. وفي جميع الحالات، تزيد مساحة المناطق المختارة على أساس أنها تلك التي يسهل فيها ترسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات فتزيد بكثير على 000 10 كيلومتر مربع تضمها منطقة استكشاف واحدة لا تشمل سوى 100 قطعة مساحة كل منها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات.

21 - ويمكن لاستكمال بيانات الخريطة العامة لأعماق المحيطات وتقسيمها إلى مربعات شبكية بمسافات يقدر كونتورها بنحو 500 متر مع مباعدة في زمن قدره دقيقة واحدة أن يُعين على استقاء تفاصيل إضافية عن أعماق البحر قد تفيد في اختيار المناطق المؤاتية للترسيب، مما قد يؤدي إلى تقليص المناطق المختارة في المسح الأول بنسبة تصل إلى 50 في المائة. ويتبين هذا من المثال المستمد من شمال شرق المحيط الهادئ، حيث تصل مساحة المنطقة المؤاتية المختارة من بيانات الخريطة العامة لأعماق المحيطات إلى 000 55 كيلومتر مربع، بينما كان من الممكن اختيار منطقة مؤاتية تقارب

مساحتها 000 25 كيلومتر مربع بمسافة يبلغ كونتورها 100 متر (التذييل 5). وحتى بواسطة وسيلة قياس أعماق بالغة الدقة، ليس من المستصوب دائما استبعاد المناطق العميقة أو المنبسطة المحاذية للمرتفعات. ومن الأمثلة على هذه المشكلة الوادي الأوسط الذي ربما لم يُدرج، بسبب موقعه البعيد عن محور الوسط الممتد، في عملية اختيار أولية للمناطق المؤاتية للترسيب حتى ولو بمسافة يبلغ كونتورها 100 متر. وعليه، فأي زيادة بعشرة أضعاف في دقة قياس الأعماق بمقياس 5 درجات على 5 درجات لا تؤدي بالضرورة إلى حدوث تناقص بعشرة أضعاف في المنطقة المختارة بوصفها منطقة مؤاتية لترسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات. كما أن من شأن قصر عمليات التنقيب على الأعماق الضحلة المياه (مثلا أقل من 500 2 متر)، لأسباب تكنولوجية غير معروفة حتى الآن، أن يؤدي إلى استبعاد مناطق عديدة ذات إمكانيات واسعة للتنقيب عن الكبريتيدات المتعددة الفلزات، بما فيها معظم المنطقة. ورغم أن نسبة كبيرة من الكبريتيدات المتعددة الفلزات المعروفة في المناطق الوطنية الاقتصادية الخالصة توجد في أعماق بحرية تقل عن 500 2 متر، فإن أماكن كثيرة من المنطقة توجد في أعماق يصل غورها إلى 000 4 متر (الرسم 6 و الجدول 1).

22 - ويصل متوسط عدد مواقع الكبريتيد في كل متر مربع من المناطق التي يسهل فيها الترسب، والبالغة 000 55 كيلومتر مربع، إلى 3.4 (الجدول 2). وقد عُثر على متوسط أعلى بقدر طفيف (3.7) في أمثلة من المنطقة، مما يعكس العدد الأقل من رواسب الكبريتيدات التي تميز المرتفعات السريعة الامتداد. ومن واقع تحليل لجميع رواسب الكبريتيد الـ 106 الوارد في التذييل 3، فإن متوسط المسافة الفاصلة بين رواسب الكبريتيد في كل منطقة مقدرة بمقياس 5 درجات على 5 درجات هو 98 كيلومترا (الجدول 2). وفي المنطقة، يبلغ متوسط المسافة الفاصلة بينها 95 كيلومترا (ن = 43). وبالرغم من أن المسافة الفاصلة بينها تكون أكبر في المرتفعات البطيئة الامتداد (167 كيلومترا) منها في المرتفعات السريعة الامتداد (46 كيلومترا)، يزداد متوسط حجم كل من هذه الرواسب في المرتفعات البطيئة الامتداد. وتوحي هذه البيانات بأن أي رخصة استكشاف تغطي مساحة 000 10 كيلومتر مربع فقط لن تشمل على الأرجح سوى شريحة محدودة من الرواسب المعروفة في أي منطقة. وبالنظر إلى توزع

الفوهات على منطقة شاسعة، فقد يستلزم الأمر وجود القطع المستأجرة في عدد من المواقع المنفصلة داخل مناطق سهلة الترسب محجوبة، وربما منفصلة عن بعضها البعض. ومع أنه من الممكن التخلي باستمرار عن المناطق غير المؤاتية بحيث يتسنى الاحتفاظ بترتيب متصل للقطع المحتفَظ بها، فمن الأرجح أن يتعرّف المستكشفون بسرعة على أكثر المواقع مؤاتاة، ومن الممكن إقرار عدد من قطع التنقيب غير المتناخمة.

باء - مقارنة النموذج 1 والنموذج 2

23 - في النموذج 1، يصل متوسط عدد رواسب الكبريتيد في 100 قطعة من القطع المؤاتية للتنقيب، أي مساحة 000 10 كيلومتر مربع، إلى 2.5. وعُثر على متوسط عدد أكبر بقدر طفيف (2.7) في أمثلة اختيرت من المنطقة. وفي المتوسط، تضم أي منطقة استكشاف مؤلفة من 100 قطعة متناخمة نسبة 73 في المائة من رواسب الكبريتيد المعروفة في المنطقة المؤاتية للترسيب. وفي المثال الموضح في الشكل 4، تُرك موقعان خارج منطقة الاستكشاف الأولية وكان لزاما التخلي عن موقع ثالث بهدف الحفاظ على ترتيب من القطع المتجاورة في الاختيار النهائي. وفي هذا المثال، لا تحتوي القطع الـ 25 النهائية إلا على راسبين من الأربعة التي عُثر فيها على معدن الكبريتيد في المنطقة الأصلية المؤاتية. وفي المتوسط، لا توجد في القطع الـ 25 النهائية إلا نسبة 53 في المائة من رواسب الكبريتيد المعروفة في أي من المناطق المؤاتية المذكورة (الجدول 2).

24 - أما في النموذج 2، فقد قُسمت منطقة الاستكشاف إلى 4 مناطق فرعية تضم كل واحدة منها 25 قطعة من أكثر القطع تبشيرا بالتنقيب (لنفس المنطقة البالغ مجموع مساحتها 000 10 كيلومتر مربع). وفي هذه الحالة، كان من الممكن الحصول على نسبة 97 في المائة من رواسب الكبريتيد المعروفة داخل المناطق المؤاتية المائة. وفي الحالات القليلة التي تُركت فيها رواسب الكبريتيد خارج المناطق المائة المذكورة، زاد مجموع تلك الأماكن على ما يمكن أن تحتويه المناطق الفرعية الأربع. وفي معظم المناطق المقدرة بمقياس 5 درجات على 5 درجات، سيستلزم الأمر وجود قطع غير متناخمة لتضم جميع رواسب الكبريتيد المعروفة في المنطقة المؤاتية للترسيب.

سادسا - الاستنتاجات والتوصيات

25 - يُرجح أنه لن يتسن تطبيق مشروع القواعد التنظيمية الخاص بأعمال التنقيب والاستكشاف بصورة متساوية على قشور الأرضية والكبريتيدات المتعددة الفلزات. ورغم أن المناطق المؤاتية لترسيب الكبريتيدات المتعددة الفلزات فيها واسعة، يبدو أن رواسبها تتسم بمزيد من التركز في المواقع، بينما تكون المناطق التي يُرجح استكشافها أصغر من القشرة الأرضية. وخلافا للقشرة التي تنحصر بالدرجة الأولى في الجبال البحرية التي يمكن بسهولة التعرف عليها في مسوحات قياس الأعماق، يمكن اختيار مناطق واسعة للمراحل الأولية من التنقيب عن الكبريتيدات المتعددة الفلزات. ويمكن بسرعة تقليص هذه المناطق لتصبح مناطق تبشر بأعمال التنقيب أكثر من غيرها في فترة تتراوح بين 5 و 10 سنوات، لكن ربما يحتاج الأمر لاستكشاف مزيد من المناطق لضمان التعرف في آخر الأمر على موارد كافية يمكن استغلالها. وفي معظم الحالات، فإن منطقة استكشاف واحدة مساحتها 000 10 كيلومتر مربع أصغر من أن تحتوي على جميع الكبريتيدات المتعددة الفلزات التي قد توجد في منطقة تنقيب مقدَّرة بمقياس 5 درجات على 5 درجات. وبالنسبة للمناطق الأكبر، ربما لن يسمح الجدول الزمني المقترح للتخلي عن تلك المناطق بإجراء تقييم واف لجميع المناطق بقدر يكفي من التفصيل وبما يكفل عدم ترك مناطق التنقيب الواعدة قبل الأوان.

26 - وفي ضوء توزيع الكبريتيدات المتعددة الفلزات المعروف في المنطقة، من المرجح أن يستلزم الأمر مجموعات منفصلة من القطع المتتاخمة لتشمل جميع رواسب الكبريتيد المعروفة في أي رخصة للتنقيب. ومن المستبعد أن لا يسمح استخدام القطع المتجاورة، حسب تعريفها في مشروع القواعد التنظيمية، لأي متعاقد بتأمين الفرص الكافية لفترة استغلال متعددة السنوات، ومن شبه المؤكد تقديم طلبات للحصول على رخص لاستكشاف مناطق متعددة مؤلفة من 100 قطعة، وذلك للتعويض عن تكوينها الجيولوجي المسامي. وبسبب التباعد بين الرواسب في منطقة معينة، من غير المرجح أن تكون القطع المائة المتجاورة كافية لاكتشاف موارد لسنوات متعددة. وقد يقتضي الأمر تقسيم مناطق التنقيب إلى مجموعات مؤلفة من قطع غير متجاورة لضمان توزيع المجموعات النهائية على منطقة واسعة بما فيه الكفاية لتحتوي على هذه الموارد. وربما قد لا تأتي المناطق الـ 25 النهائية المختارة للتنقيب من نفس الحصة الأولية المؤلفة من 100 قطعة في رخصة تنقيب واحدة. وفي معظم تطبيقات النموذج 1، تُرك على

الأقل موقع واحد خارج منطقة الاستكشاف الأولية وكان لزاما التخلي عن موقع ثان بغرض الاحتفاظ بترتيب متصل للقطع الـ 25 النهائية. وينبغي أن تسمح القواعد التنظيمية بالترخيص لمناطق استكشاف كبيرة بالقدر الكافي لتحتوي على عدد معقول من رواسب الكبريتيد أو أن تمنح حقوقا أخرى خلال مرحلة التنقيب لتأمين مناطق تنقيب كافية قد تحتوي على موارد يمكن استغلالها. كما ينبغي قبول طلبات الحصول على تراخيص تشمل القطع غير المتتاخمة طوال مرحلتي الاستكشاف والاستغلال.

المراجع

Hannington, M.D., de Ronde, C.E.J., and Petersen, S., 2005, Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems, in *100th Anniversary Volume, Review of Economic Geology*, pp. 111-142.

Hannington, M.D., Jonasson, I.R., Herzig, P.M., and Petersen, S., 1995, Physical and chemical processes of seafloor mineralization, in Humphris, S., Fornari, D., and Zierenberg, R., eds., Physical, Chemical, Biological and Geological Interactions within Hydrothermal Systems: AGU Monograph 91, pp. 115-157.

Hannington, M.D., Petersen, S., Herzig, P.M., and Jonasson, I.R., 2004, A global database of seafloor hydrothermal systems, including a digital database of geochemical analyses of seafloor polymetallic sulphides: Geological Survey of Canada Open File 4598, 1 CD-ROM.

Hannington, M.D., Petersen, S., Herzig, P.M., and Jonasson, I.R., 2002, Global database of seafloor hydrothermal systems, including a geochemical database of polymetallic sulphides. Prepared for the International Seabed Authority of the United Nations, Central Data Repository, Ver. 1.0, 2002.

Herzig, P.M., and Hannington, M.D., 1999, Recent advances in the study of polymetallic massive sulphides and gold mineralization at the modern seafloor, in Cronan, D.S., ed., *Handbook of Marine Mineral Deposits*: CRC Press Inc., pp. 347-368.

Herzig, P.M., and Hannington, M.D., 1995, Polymetallic massive sulphides at the modern seafloor: *Ore Geology Reviews*, vol. 10, pp. 95-115.

Herzig, P.M., Petersen, S., and Hannington, M.D., 2002, Polymetallic massive sulphide deposits at the modern seafloor and their resource potential, in Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-rich Ferromanganese Crusts — Status and Prospects: United Nations International Seabed Authority, Technical Study No. 2, pp. 7-35.

Herzig, P.M., Petersen, S., and Hannington, 2002, Technical requirements for exploration and mining of seafloor massive sulphide deposits and cobalt-rich ferromanganese crusts, in Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-rich Ferromanganese Crusts — Status and Prospects: United Nations International Seabed Authority, Technical Study No. 2, pp. 90-100.

Hein, J.R., Kochinksy, A., Bau, M., Manheim, T., Kang, J.-K., and Roberts, L., 1999, Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific, in Cronan, D.S., ed., *Handbook of Marine Mineral Deposits*: CRC Press Inc., pp. 347-368.

Smith, W.H.F. and Sandwell, D.T., 1997, Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings: *Science*, vol. 277, No. 5334, pp. 1956-1962.

الجداول

1 - الجدول 1 الفوهات الحرارية المائية العالية الحرارة ومواقع الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحر (Hannington et al., 2005)

2 - الجدول 2 تحليل المناطق المؤاتية، عدد مواقع تواجد الكبريتيد والمسافات الفاصلة بين المواقع في 32 منطقة (5 درجات في 5 درجات).

الأشكال

1 - الشكل 1: توزيع الفوهات الحرارية المائية ومواقع وجود الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحر (Hannington et al., 2005) وتشير الأرقام إلى المواقع الواردة في الجدول 1. أما سائر الفوهات الحرارية المائية المنخفضة الحرارة والرواسب القشرية الغنية بالمنغنيز الحديدي أو المتعددة الفلزات فهي موضحة بواسطة دوائر مفتوحة. ويرد أيضا بيان المرتفعات الرئيسية المنتشرة ومناطق الصفائح القارية (الأقواس البركانية والأقواس الخلفية).

2 - الشكل 2: مواقع المناطق الاقتصادية الخالصة الوطنية (المناطق المظللة تكاد تماثل حد يبلغ 200 نانومتر). ويعرض أيضا توزيع مرتفعات وسط المحيط على صعيد المنطقة.

3 - الشكل 3: مواقع 32 من المناطق البالغ مساحتها خمس درجات في خمس درجات التي كانت موضع نظر هذه الورقة.

4 - الشكل 4: تطبيق للنموذج 1 في مرتفعات وسط المحيط الهندي يوضح 100 من الكتل المتناخمة بمساحة 10 كم × 10 كم لكل منها وقد تم تأجيرها لأغراض الاستكشاف وتحوي على موقع واحد على الأقل معروف باحتوائه على الكبريتيد أو تشمل ما يدل على حالة تمعدن إيجابية أخرى في مساحة عشرة آلاف كيلومتر مربع. ويتم التخلي عن 50 في المائة من منطقة الاستكشاف في أولى مراحل الاستكشاف (5 سنوات) وبذلك تترك 50 من الكتل المتناخمة بمساحة 10 كم × 10 كم لكل منها حيث تحتوي على 5 مواقع معروفة لتواجد الكبريتيد في مساحة 000 5 كم^2. وفي المرحلة النهائية من الاستكشاف يتم الاحتفاظ بـ 25 من القطع المتناخمة بمساحة 10 كم × 10 كم لكل منها حيث تحتوي على اثنين من المواقع المعروفة للتواجد في مساحة تبلغ 500 2 كيلومتر مربع. وفي هذا النموذج يترك موقعان

خارج منطقة الاستكشاف الأولية مع التخلي عن موقع ثالث من أجل الحفاظ فقط على الكتل المتناخمة لدى الاختيار النهائي للقطع الخمس والعشرين.

5 - الشكل 5: تطبيق للنموذج 2 في نفس المناطق أسوة بالنموذج 4 مع تبيان 100 من القطع غير المتناخمة التي تبلغ مساحة كل منها 10 كم × 10 كم، إضافة إلى شق بين 4 مجموعات تضم 25 قطعة متناخمة بمساحة 500 2 كم^2 لكل منها وتحتوي على جميع مواقع الكبريتيد المعروفة ضمن منطقة متجمعة تبلغ مساحتها 10 آلاف كيلومتر مربع. ولا يتوافر ضمان بصحة تحديد أفضل الكتل مواتاة خلال مرحلة الاستكشاف وإن كان المفعول التوقع بقدرة المستكشفين على تطبيق المعايير الملائمة المفضية إلى تعظيم اختيار مجاميع الكتل المحتوية على الكبريتيد. وقد تحتاج منطقة الاستكشاف الأولية إلى أن تكون أكبر بكثير من مساحة 10 آلاف كيلومتر مربع بما يضمن تأمين جميع المواقع في المرحلة النهائية من الاستكشاف.

6 - الشكل 6: التوزيع العمقي للفوهات الحرارية المائية على قاع البحر في تكوينات بركانية وتكتونية مختلفة (من هاننغتون وآخرين، 2005 بعد التعديل من ماسوث وآخرين، 2003).

التذييل 1: الفقرات ذات الصلة من مشروع القواعد التنظيمية

المادة 12
المساحة الإجمالية المشمولة بالطلب

1 - تتضمن المساحة المشمولة بكل طلب للموافقة على خطة عمل للاستكشاف ما لا يزيد على 100 قطعة.

2 - في حالة الكبريتيدات المؤلفة من عدة معادن أو القشور الغنية بالكوبالت، تتألف منطقة الاستكشاف من قطع متناخمة. ولأغراض هذه المادة، تعتبر القطعتان اللتان تتلامسان عند أية نقطة قطعتين متناخمتين.

3 - برغم أحكام الفقرة 1 أعلاه، إذا اختار المتعاقد أن يساهم بالقيام بأنشطة في منطقة محجوزة عملا بالمادة 9 من المرفق الثالث من الاتفاقية ووفقا للمادة 17، لا تتجاوز المساحة الكلية التي يغطيها الطلب 200 قطعة.

المادة 17

البيانات والمعلومات التي يجب تقديمها قبل تعيين قطاع محجوز

1 - إذا اختار مقدم الطلب أن يسهم بقطاع محجوز، يكون القطاع المشمول بالطلب على قدر من الاتساع ومن القيمة التجارية المقدرة بما يكفي لإتاحة القيام بعمليتي تعدين. ويقسم مقدم الطلب القطع التي يتضمنها الطلب إلى مجموعتين متساويتين من حيث القيمة التجارية المقدرة، وتتألفان من قطع متناخمة. وتخضع المساحة التي تخصص لمقدم الطلب لأحكام المادة 27.

المادة 27

مساحة القطاع والتخلي

1 - على المتعاقد أن يتخلى عن القطع المخصصة له وفقا للفقرات 2 و 3 و 4 من هذه المادة.

2 - على المتعاقد أن يتخلى، في نهاية السنة الخامسة من تاريخ العقد عن:

(أ) 50 في المائة على الأقل من عدد القطع المخصصة له؛

(ب) إذا كانت نسبة 50 في المائة من عدد القطع عددا كاملا وكسرا، يؤخذ العدد الكامل الأعلى الذي يليه من القطع.

3 - وعلى المتعاقد أن يتخلى في نهاية السنة العاشرة من تاريخ العقد عن:

(أ) 75 في المائة على الأقل من عدد القطع المخصصة له؛ أو

(ب) إذا كان 75 في المائة من ذلك العدد من القطع عددا كاملا وكسرا يؤخذ العدد الكامل الأعلى الذي يليه من القطع.

4 - في نهاية السنة الخامسة عشرة من تاريخ العقد أو عندما يقدم المتعاقد طلبا لحقوق الاستغلال، أيهما أسبق، يحدد المتعاقد 25 قطعة من العدد الباقي من القطع المخصصة له ليحتفظ بها المتعاقد.

5 - تعود القطع المتخلي عنها إلى المنطقة.

6 - يجوز للمجلس، بناء على طلب من المتعاقد، وبتوصية من اللجنة، في ظروف استثنائية، تأجيل جدول التخلي. ويقرر المجلس وجود هذه الظروف

الاستثنائية، وتشمل، في جملة أمور، إيلاء الاعتبار للظروف الاقتصادية السائدة أو غيرها من الظروف الاستثنائية غير المتوقعة الناشئة فيما يتعلق بالأنشطة التشغيلية للمتعاقد.

التذييل 2: بارمترات نموذجية

1 - تعتبر مجموعة الصفات الفيزيائية لرواسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحر والبيئة الجيولوجية التي توجد فيها، مؤشرات لاختيار المناطق الواعدة. وفيما يلي عرض موجز لأهم القياسات المستخدمة في سلاسل الجبال الموجودة في وسط المحيطات. ورغم أن الاستعراض المستفيض للأوضاع الجيولوجية الأخرى الواردة في الجدول 1، يتجاوز نطاق هذه الورقة إلا أنه لا بد أن يكون موضوعا لأي بحث آخر ينظر في أمر الاستكشاف الشامل عالميا للكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحر. ولمزيد من المعلومات، نحيل القارئ إلى وثائق الاستعراض الخاصة بهذا الموضوع التي كتبها هانغتون وآخرون (1995 و 2005) وهيرزيغ وهانغتون (1995 و 1999 و 2000). كما يمكن الحصول على معلومات إضافية من الدراسة التقنية رقم 2 عن "الترسيبات الضخمة للكبريتيدات المتعددة الفلزات وقشور المنغنيز الحديدية الغنية بالكوبالت - التنقيب والاستكشاف" التي نشرتها السلطة الدولية لقاع البحار.

1 - الاعتبارات الجيولوجية

2 - تعد الكبريتيدات المتعددة الفلزات نتاجا لفوهات الدخان الأسود عالية الحرارة (350 درجة مئوية) التي تشهدها المناطق التي تنشط فيها البراكين أو نشطت فيها مؤخرا في قاع البحر، وتشمل المرتفعات المتطاولة في الأعماق والمرتفعات الرسوبية والهضاب البحرية والبراكين القوسية ومناطق التصدعات القوسية. وتتشكل الرواسب الحرارية الأرضية من تراكمات كثيفة من الفلزات المعدنية التي تشمل أساسا مواد البيريت والبيروتايت والكلوبيريت والإسفالتيريت التي تترسب على قاع البحر وأسفله حول الفوهات الحرارية الأرضية. وترتبط معظم تراكمات الكبريتيدات بعمليات التهوية الحرارية الأرضية المستمرة ولكن نسبة 20 في المائة من هذه المواقع لم تعد نشطة.

3 - وتوجد نسبة 65 في المائة من مواقع الكبريتيدات المعروفة في المرتفعات المتطاولة في المحيطات وتوجد البقية في الأحواض القوسية (22 في المائة) وفي الأقواس البركانية المغمورة (12 في المائة) والبراكين المتداخلة (1 في المائة). ويتناسب توزيع الفوهات بشكل عام مع أطوال المرتفعات والأقواس ويصل الطول الإجمالي للمرتفعات المتطاولة في البحار إلى 000 55 كيلومتر كما يصل طول الأقواس الجزرية وما يحفها من أحواض قوسية إلى 000 22 كيلومتر. وتوجد الكبريتيدات في تشكيلة من الطبقات الصخرية المختلفة بما في ذلك مرتفعات البازليت المتطاولة في المحيطات والصخور المتداخلة والحمم الناجمة عن الأقواس البركانية كما تتخلل الرواسب المكونة للقشرة المحيطية والقارية والبحرية. وتشمل المناطق المؤاتية لتكوين الكبريتيدات المتعددة الفلزات مناطق التصدع الكثيف وأماكن ثوران قاع البحار التي يمكن تمييزها عادة بقياس الأعماق الإقليمية وتنتشر فوهات الدخان الأسود بشكل أوسع في المرتفعات البحرية المتطاولة سريعة الانتشار مما يعكس كثافة تدفق الحرارة العالية والثوران البركاني في قاع البحر في هذه البيئة. ومع ذلك لا ترتبط غزارة الكبريتيدات بأعلى معدلات الانتشار على الدوام فأكثر رواسب الكبريتيدات توجد في المراكز المتوسطة والبطيئة الانتشار وفي محور سلسلة البراكين والأحواض القوسية العميقة والصدوع الرسوبية المتتاخمة مع الهوامش القارية. وأما عدم المعرفة برواسب الكبريتيدات في بعض أجزاء المحيط (على سبيل المثال المناطق القطبية والمحيط الجنوبي) فيعكس أساسا الصعوبات التي تواجه البحوث البحرية في هذه المناطق. وتؤكد الاكتشافات الأخيرة للأعمدة الحرارية الأرضية والكبريتيدات في المنطقة القطبية ومنطقة أنتاركتيكا أن النشاط الحراري الأرضي في قاع البحار في المناطق النائية من المحيطات لا يختلف كثيرا عن النشاط الملاحظ في مناطق أخرى.

4 - وتتواجد في المنطقة المرتفعات المتطاولة وسط المحيط والبراكين الصفائحية بوصفها الملامح السائدة التي تحتوي على كبريتيدات متعددة الفلزات (على سبيل المثال الارتفاع المتطاول في جنوبي المحيط الهادئ وفي وسط المحيط الأطلسي أو في قلب المحيط الهندي: الشكل 1). ويتم تمييز الأنواع المختلفة من الارتفاعات المتطاولة في المحيط على أساس معدل الانتشار والتشكيل وهي تتفاوت حسب درجة الإجهاد التكتونية

الإقليمية ومعدلات وجود الصخور الصهارية. وتحدث الارتفاعات المتطاولة السريعة الانتشار (معدلات الانتشار الكامل 6 إلى 10 سم في السنة) في القشرة المحيطية الرقيقة نسبيا وتتميز بكثرة حالات ثوران البراكين أما الارتفاعات المتطاولة المعتدلة الانتشار (4 إلى 6 سم في السنة) والبطيئة الانتشار (1 إلى 4 سم في السنة) فتحدث في القشرة السميكة نسبيا وتتميز فقط بحدوث نشاط بركاني متقطع بين فترات متطاولة من حالات الإجهاد التكتوني والحممي و/أو نتيجة لنشاط متداخل. وتشكل الارتفاعات المتطاولة السريعة الانتشار نسبة 25 في المائة من مجموع طول الارتفاعات المتطاولة في حين يتم تصنيف نسبة 15 في المائة من هذه الارتفاعات على أنها متوسطة الانتشار و 60 في المائة بوصفها بطيئة الانتشار. وتم تسجيل مراكز الانتشار الفائقة السرعة مثل الارتفاع المتطاول في شرق المحيط الهادئ (17 سم في السنة) ومراكز الانتشار الشديدة البطء الارتفاع المتطاول في جنوب غرب المحيط الهندي (1 سم في السنة). ويؤثر معدل إطلاق الحمم وكثافة الحمم البركانية والتمدد الحممي في مقابل التمدد التكتوني على حجم ونشاط الحمل الحراري على المرتفعات المتطاولة. وثمة ارتباط عام بين معدل الانتشار وحدوث الفوهات الحرارية الأرضية. ومع ذلك، وكما سبق ملاحظته، توجد أكبر تكوينات الكبريتيدات عادة عند وقوع الثورات البركانية العَرَضية وهي تتناوب مع فترات طويلة للنشاط التكتوني الكثيف.

5 - ومن شأن المرتفعات المتطاولة (والأحواض القوسية) أن تترسب بمقاييس العشرات والمئات من الكيلومترات نتيجة مجموعة من الاختلالات بما في ذلك الصدوع المتحولة ومراكز الانتشار المتداخلة والأوضاع الأخرى غير المتعلقة بالتحول. وتؤثر هذه الملامح على توزيع حرارة الحمم والدوران الحملي للحرارة الأرضية مما يرسم حدودا طبيعية للمناطق التي يرجح اختيارها لاستكشاف الكبريتيدات المتعددة الفلزات. وعلى مستوى الأجزاء الرئيسية للمرتفعات المتطاولة تحدث الفوهات المرتفعة الحرارة عادة في أكثر الأجزاء ضحالة في الارتفاع المتطاول وفي وسط الأجزاء حيث تفتقر أطراف الأجزاء للحمم والحرارة.

6 - كما تنبثق الحمم في المرتفعات المتطاولة السريعة الانتشار كالارتفاع المتطاول في شرق المحيط الهادئ على قاع البحار وبشكل أسرع من معدل

التمدد ولذلك تتراكم التدفقات بوصفها مرتفعات بركانية محلية يصل ارتفاعها إلى 100 متر فوق القاع البحري المحيط. وعادة ما تتخذ التصدعات شكل أخدود محوري ضيق (عرضه كيلومتر واحد) ويمثل ذلك أكثر الأماكن شيوعا لحدوث الفوهات الحرارية الأرضية. ويرتبط حدوث الفوهات ارتباطا وثيقا بالمناطق التي تكون قد شهدت أحدث الثورات البركانية. إلا أن الثورات المتكررة يمكن أن تعوق تدفق السوائل الحرارية الأرضية وتطمر رواسب الكبريتيدات التي تتواجد على طول تصدعات البراكين. وكنتيجة لذلك تبدو مجمعات الفوهات في الارتفاعات سريعة الانتشار صغيرة (أقل من عدة آلاف من الأطنان حسب الوزن الجاف) وربما تطرح تكوينات الكبريتيدات بعيدا عن مصدرها الحراري بفعل ارتفاع معدلات الانتشار.

7 - وتتميز مراكز الانتشار البطيئة والمتوسطة مثل الارتفاع المتطاول في وسط المحيط الأطلسي والارتفاع المتطاول في المحيط الهندي بانخفاض معدلات الصهارة والمزيد من التحكم الهيكلي في انبثاق الحرارة الأرضية أكثر من الارتفاعات المتطاولة السريعة الانتشار. كما تتميز الارتفاعات المتطاولة البطيئة الانتشار بصفة خاصة بتكوين وديان محورية ناجمة عن التصدع (قد يصل عرضها إلى 15 كيلومترا وعمقها إلى كيلومترين). ونادرا ما تحدث ثورات بركانية أو ربما تحدث على فترات متباعدة تتراوح بين 100 أو 000 1 عام. وطبقا لأبطأ معدلات الانتشار قد تصل الفترات الفاصلة بين الثورات البركانية إلى عشرات الآلاف من السنين. وحتى عام 1984 كان من المقبول عموما أن النشاط الحراري الأرضي في المرتفعات المتطاولة البطيئة الانتشار سيكون محدودا بسبب انعدام حرارة الحمم في قاع البحار. وبعد اكتشاف الحقل الحراري الأرضي في الارتفاع المتطاول وسط المحيط الأطلسي أصبح من الواضح أن المرتفعات المتطاولة البطيئة الانتشار يمكن أن تنطوي على عدد من أكبر النظم الحرارية الأرضية في قاع البحار. كما يمكن أن تتواجد هذه بعيدا عن المحاور حيث تكون الركازة مستقرة بشكل كاف لدعم نمو تكوينات الكبريتيدات على مدى مئات من السنوات بعكس حقول الفوهات الأحدث عهدا والقريبة من المناطق النيوبركانية التي لم يتح لها الوقت الكافي لتراكم الكبريتات بشكل كثيف. وعادة ما تتركز الفوهات الحرارية الأرضية في الارتفاعات المتطاولة البطيئة الانتشار على جدران الأخدود العميق. ونظرا للقوى النشطة الكبيرة

التي تؤثر في السوائل الحرارية الأرضية فليس مستبعدا حدوث فوهات ذات حرارة مرتفعة على قمم المرتفعات الهيكلية على بعد كيلومترات من مركز الأخدود. ولهذا السبب يجب أن يشمل الاستكشاف للمرتفعات المتطاولة البطيئة الانتشار المناطق الواسعة المجاورة للأخدود.

8 - وربما تكون البراكين البعيدة عن المحور مواقع لنشاط حراري أرضي. وتوجد هذه البراكين على مسافة 5 إلى 10 كيلومترات من الارتفاعات. وتتفاوت في الحجم من بضعة كيلومترات إلى ارتفاعات كبيرة يصل قطرها إلى عشرة كيلومترات. ويعرف وجود عدد قليل من رواسب الكبريتيد الكبيرة حيث تكون هذه البراكين قريبة من الارتفاعات (على سبيل المثال 13 درجة إلى الشمال من الارتفاع المتطاول في جنوب شرقي آسيا). بيد أن معظم البراكين البعيدة عن المحور تتميز بانخفاض درجات الحرارة، وترسيبات أكسيد المنغنيز الحديدي وربما يعكس ذلك صغر حجم الحمم المرتبطة بها أو غياب تصدعات متوغلة إلى العمق بسبب النشاط البركاني بعيدا عن المحور.

9 - وتحدث معظم الفوهات في الارتفاعات الموجودة وسط المحيط في أعماق مائية تتراوح بين 000 2 و 000 3 متر وإن كان من المعروف أيضا أن عددا كبيرا يوجد في أعماق مائية تصل إلى 4 آلاف متر (الشكل 6 والجدول 1). وتحدث أعمق الفوهات بالمراكز المتطاولة البطيئة الانتشار أو المفرطة في البطء التي تفتقر للنشاط القشري المصحوب بالحمم الكبيرة. إلا أنه على نطاق إقليمي تتركز معظم الفوهات الحرارية الأرضية في قمم الصروح البركانية (أكثر الأجزاء ضحالة في مراكز الارتفاعات المتطاولة وسط المحيط وقمم الهضاب البحرية بعيدا عن المحور). وعلى صعيد أكثر محلية يحتمل وجود تكوينات الكبريتيدات في الانخفاضات البركانية أو التكتونية التي تعلو الارتفاعات البركانية (على سبيل المثال تصدعات الأخدود في قمة قطاع الارتفاعات والفوهات البركانية الضخمة في قمة البراكين القوسية). ولا تنطوي الجوانب الخارجية الأعمق من الارتفاعات أو البراكين على احتمالات نشاط حراري أرضي ومن المستبعد أن تشتمل على أحجام كبيرة من كبريتيدات متعددة الفلزات إلا مع وجود الهياكل الرئيسية التي تعمل على تركيز الانبثاق الحراري الأرضي.

10 - وعلى خلاف المناطق التي يمكن فيها استغلال طبقات القشرة لا ينبغي أن يحول الغطاء الرسوبي دون مباشرة استكشاف الكبريتيدات المتعددة الفلزات إلا إذا كان الغطاء سميكا ليمنع تدفقات السوائل الحرارية الأرضية من الوصول إلى قاع البحر. بيد أنه يمكن تحديدا استهداف بعض البيئات الرسوبية الكثيفة مثل الارتفاعات الرسوبية والحواف الأخدودية بحثا عن الكبريتيدات المتعددة الفلزات الموجودة في المواد المترسبة ولا سيما عندما تلوح مؤشرات أخرى دالة على التمعدن ومنها على سبيل المثال ارتفاع تدفق الحرارة ودليل على نشاط حراري أرضي تحت قاع البحار أو تغير في الطبقة الرسوبية. ومن أكبر الأماكن المعروفة لتشكيل الكبريتيدات المتعددة الفلزات (الوادي الأوسط في مرتفع جوان دوفوكا) منطقة تتميز بغطاء رسوبي يكاد يصل إلى 100 في المائة بالرغم من وجود دليل على مظاهر حرارية أرضية وعلى تمعدن يتم بالقرب من قاع البحر. ولا يراعي الغطاء الرسوبي في النماذج المعروضة في هذه الورقة لاختيار البيئات الجيولوجية المؤاتية ولكن يرجح أن يستخدم المكتشفون هذا المعيار فضلا عن وجود أو غياب مؤشرات حرارية أرضية لاختيار قطع محدودة النشاط البركاني ولاستبعادها من الحيازات المملوكة بعد مرحلة استكشاف أولية.

11 - ويمكن توقع تضاريس مانعة للقياسات الحرارية في كثير من المناطق التي شهدت النشاط البركاني والتكتوني في مراحل قريبة. وقد يكون ذلك مؤشرا إيجابيا للعمليات الحمية والحرارية الأرضية التي قد تفضي إلى تركيزات في الكبريتيدات المتعددة الفلزات ولكن وعورة التضاريس أو سوء استقرار الأرض قد يعوق أعمال التنقيب في المستقبل. وغالبا ما تتميز جدران الأخدود أو فوهات الصروح البركانية التي نشطت مؤخرا بالثبات أو الاستقرار بالرغم من أن سفوح الأخاديد والفوهات قد تشمل مناطق منبسطة تترسب فيها الكبريتيدات المتعددة الفلزات ويبلغ ارتفاع التضاريس في المراكز سريعة الانتشار عشرات أو مئات الأمتار وعلى مسافة كيلومتر واحد وربما يصل امتداد التضاريس في المراكز بطيئة الانتشار إلى مائة متر وإلى كيلومتر واحد على مسافة أفقية تصل إلى كيلومتر واحد. وفي بعض الأماكن ربما يكون ثوران البراكين عائقا لاستكشاف أو استغلال الكبريتيدات. وتعد بعض أماكن البراكين القوسية محظورة على الملاحة بسبب المخاطر البركانية.

2 - اعتبارات أخرى

12 - عادة ما توجد المجتمعات البيولوجية المرتبطة بالفوهات الحرارية الأرضية النشطة عند أو قرب رواسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات. وقد تحظر القواعد السارية أي إقلاق لمثل هذه المجتمعات لدرجة تصل لاستبعاد نسبة كبيرة من رواسب الكبريتيدات المعروفة من أي استكشاف تجاري في مرحلة مبكرة. وليس لفوهات ومرتفعات الكبريتيدات الخامدة صلة بالمجتمعات البيولوجية الحية ولذلك فهي تشكل مجالات محتملة للاستغلال ولكنها توجد عادة بالقرب من الفوهات النشطة (ما بين كيلومتر واحد إلى اثنين) وترتبط على الدوام بذات الملامح الجيولوجية. ويرجح أن يترتب على اضطراب تراكمات الكبريتيدات الخامدة المتاخمة للمواقع النشطة أثر غير معروف على النُظم النشطة القريبة منها وعلى المجتمعات البيولوجية المتصلة بها.

13 - ويمكن بيان مخاطر التشابك في بعض المواقع من خلال المعدات المهجورة (الكابلات والجرافات ومعدات الصيد والآلات العلمية). فعلى سبيل المثال يضم ارتفاع وسط المحيط الأطلسي الذي تم حفره في 17 موقعا مختلفا على مساحة تقل عن 250 مترا) العديد من الثقوب المهجورة بما فيها أنبوب الحفر.

3 - أحجام مناطق الاستكشاف

14 - يحد العدد والتوزيع المتوقع من الفوهات الحرارية الأرضية ذات الحرارة المرتفعة فوق الارتفاعات المتطاولة في وسط المحيط من الحجم الأمثل لمنطقة الاستكشاف. ولا يكون معروفا عادة مدى تباعد الفوهات. ولكن مجموعة من القياسات الجيوفيزيفية تقدم مؤشرا للعدد المحتمل للفوهات في الارتفاعات المتطاولة. فعلى سبيل المثال يتراوح فقد الحرارة من المناطق المحورية للارتفاعات المتطاولة في وسط المحيط في العالم بين 1.8 + 0.3 × 1012 واط (Mottl, 2003). ويتم تصريف نحو 10 في المائة من هذه الحرارة بفوهات الدخان الأسود. وبافتراض حدوث دفق حراري يتراوح بين 2 و 5 ميغاواط للفوهة الواحدة من الدخان الأسود (على سبيل المثال معدلات تصريف بين 1 و 2 كيلوغرام في الثانية (Converse et al, 1984)

فإن تقديرات الدفق للسوائل عالية الحرارة إلى قاع البحر (10 في المائة من 1.8 + 0.3 × 1012 يكافئ نحو 000 50 إلى 000 100 من فوهات الدخان الأسود (فوهة واحدة على الأقل لكل كيلومتر واحد من الارتفاع). إلا أن عدد فوهات الدخان الأسود المعروفة قليل للغاية بالمقارنة كما أن توزيعها لا يتسم بالانتظام. فربما يشتمل حقل واحد للفوهات الكبيرة على نحو 100 فوهة للدخان الأسود بحيث يصل ناتجها الإجمالي من الحرارة إلى 200 أو 500 ميغاوات (على سبيل المثال، Becker and Von Herzen, 1996)). وبالتالي فإن حقلا واحدا للفوهات قد يمثل في كل 50 إلى 100 كيلومتر تقديرات الصرف للحرارة العالية في ارتفاعات وسط المحيط. وبالرغم من أن هذا التقدير لا يراعي التباينات الواسعة في الدفق الحراري وفقا لمعدل الانتشار والعوامل الأخرى فإنه يفيد كدليل أساسي لاختيار حجم منطقة ما يجري استكشافها على طول شريحة معينة من قشرة الارتفاع.

15 - وتوحي التقديرات المستقلة التي تستند إلى التوزيع الفعلي لمواقع الفوهات المعروفة بأن تباعد رواسب الكبريتيدات على نطاق الأجزاء من مرتفعات وسط المحيط قد يكون أكثر انتظاما على الصعيد الإقليمي. ومن تحليل لمائة راسب للكبريتيدات في 32 × 5 من المناطق التي تم مسحها في هذه الدراسة كان متوسط المسافة بين رواسب الكبريتيدات 98 كيلومترا (الجدول 2). ومن بين الموجود منها (في المنطقة) ن = 43 كان متوسط مسافة التباعد 95 كيلومترا. وبالرغم من أن مسافة التباعد في الارتفاعات المتطاولة البطيئة الانتشار (167 كيلومترا) تزيد في الارتفاعات المتطاولة السريعة الانتشار (46 كيلومترا) فقد كانت أماكن وجود الكبريتيدات في الارتفاعات المتطاولة البطيئة الانتشار أكبر في المتوسط.

16 - ونظرا لتوزع الفوهات على نطاق واسع فقد تطلب قطع للإيجار في عدد من المواقع المنفصلة ضمن مناطق مؤاتية محجوبة وربما منفصلة مما يقتضي تقييما واسعا. وبالرغم من احتمال التخلي بانتظام عن القطع غير الملائمة على مدى فترة الخمسة عشر عاما المحددة في مشروع القواعد فإن من المرجح أكثر أن يسارع المكتشفون إلى تحديد أنسب المواقع وإقرار حد أدنى من القطع المحتملة غير المتتاخمة. ويجري النظر في هذا الاحتمال في نموذج القطع غير المتتاخمة.

4 - حجم أهداف الاستكشاف

17 - يتحدد الحجم الأدنى لأي منطقة استكشاف بناء على حجم الاكتشاف المتوقع والسمات الجيولوجية التي تهيمن على موقعها. فالتجمعات الكبيرة من رواسب الكبريتيدات تتميز أساسا بملامح جيولوجية يمكن التعرف عليها بسهولة بمسوحات قياسات لأعماق (الأخاديد أو فوهات البراكين بأبعاد لا يتعدى أقصاها بضع عشرات من الكيلومترات). وقد تشمل القسمات المحلية الأخرى فوالق أو خنادق عديدة، أو بحيرات اللافا، أو معالم بركانية أخرى بأبعاد لا تزيد على بضع مئات من الأمتار وتصل إلى عدة كيلومترات. وقد تتكون فرادى الرواسب الكبريتية من جبال منفصلة أو مجموعة فوهات أو هضاب تغطي مساحات من قاع البحر يتراوح قطرها بين عشرات الأمتار ومئات الأمتار. وقد يفصل بينها مسافات تتراوح بين مئات الأمتار وعدة كيلومترات، يتخللها عادة مساحات قاحلة مغطاة بالرواسب أو الحمم. ففي شريحة إنديفر (Endeavour) من سلسلة خوان دي فوكا (Juan de Fuca) (الشكل: ألف - 1) يتوزع 30 من المركبات الكبريتيدية المختلفة على 8 حقول فوهات بركانية، على طول عشرة كيلومترات في الوادي المحوري. وتتوزع الحقول البركانية الرئيسية منها على مسافات متساوية تتراوح بين كيلومترين و 3 كيلومترات (الشكل: ألف - 2). والهضاب الكبريتية المصمتة الثلاث الرئيسية (مرتفعات وسط الأطلسي ووسط المحيط الهندي و Alvin) توجد في حقل وسط الأطلسي للتحول الحراري المائي، في منطقة تبلغ مساحتها نحو 25 كيلومتر مربع (الشكل: ألف - 3). وبناء على هذه الملاحظات، فإن مناطق قاع البحار التي يرجح ملاءمتها لأكثر طرق الاستكشاف تقدما، بما في ذلك تصوير القاع ورسم خرائط لأعماق البحار بدرجة قياس تحليلية عالية، وغير ذلك من ملاحظات القاع وأخذ عينات منه، لا ينتظر أن تزيد على 100 كيلومتر مربع.

18 - ومن بين المواقع التي تزيد على المائة وتتناولها هذه الوثيقة رواسب الكبريتيدات الموجودة في فوهات البراكين بفعل التحول الحراري المائي ذي الحرارة العالية والكبريتيدات المتعددة الفلزات، لا يوجد سوى ثلثها تحتوي على تراكمات من رواسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات ويتراوح قطرها بين عشرات الأمتار ومئات الأمتار (Hannington et al, 1997; Fouquet, 1997). اغلبها لم يتم مسحه كاملا، كما أن الأبعاد المفاد عنها تشمل عادة مساحات كبيرة

من النتوءات الكبريتيدية غير المتواصلة أو طبقات تحتية قاحلة فيما بين الفوهات والهضاب. ومن الصعب تقدير تواصل كتل الكبريتيدات، حتى باستخدام عمليات المسح التفصيلية. وهناك عدد من الأمثلة التي تبين أن التقديرات الأولية للمساحات السطحية لهذه الرواسب لا يمكن استخدامها لتحديد حجم الكبريتيدات بدقة فوق قاع البحر أو بالقرب منه، فالحفر وحده هو الذي يمكن أن يعطي هذه المعلومات، وإن كانت التطورات التي قد تستجد على الطرائق الجيوفيزيائية قد تطرح أدوات أخرى لتحقيق هذا الغرض.

19 - وعندما اكتشفت الكبريتيدات المتعددة الفلزات للمرة الأولى في مرتفع اكسبلورر شمال شرق المحيط الهادئ (الشكل: ألف - 1) كانت التقديرات تشير إلى أن أكبر هضبة كبريتيدية يقدر حجمها بنحو 250 مترا × 200 متر، استنادا إلى عمليات ملاحظة المناطق المغمورة. ولكن المسوحات الأخيرة البالغة الوضوح بينت أن هذه المنطقة تضم أساسا حمما مغطاة بترسيبات غير متواصلة تشوبها عروق حديدية، مع أربع مجموعات من الفوهات فقط يبلغ قطرها 50 مترا، وتغطي أقل من 25 في المائة من المساحة التي كان يعتقد من قبل أن بها كميات كبيرة من الكبريتيدات (http://oceanexplorer,noaa.gov/explorations). وفي مسح مماثل لهذه الرواسب في بركان ميوجن نول المغمور في قوس إيزو بونن أفيد عن منطقة تمعدن الكبريتيدات ومساحتها 400 متر ×400 متر (الشكل ألف - 4). وعلى أساس تضاريس بطول 30 مترا وكثافة ظاهرية قيمتها 1.9 غرام/سم^3، حسبت الكمية الكلية للكبريتيدات المتراكمة بنحو تسعة ملايين طن (lizasa et al., 1999). وينطوي هذا الحساب على ثلاثة تصورات مهمة: (1) اعتبار أن نتوءات الكبريتيدات تغطي 100 في المائة من المنطقة المحددة (أي بما في ذلك المناطق الواقعة بين السلاسل والهضاب الكبريتية التي تحجبها الرواسب)؛ (2) التكوين التضاريسي المرصود يرجع بأكمله إلى تراكم الكبريتيدات المصمتة على قاع البحر المسطح، لا إلى فوالق أو معالم بركانية مدفونة (قباب الحمم مثلا)؛ (3) إن الكثافة الظاهرية موحدة، وتمثل الحجم الكلي المستخدم في عملية الحساب. وفي الشكل ألف - 4، غطت عمليات المسح التي لم تتعد خمسة كيلومترات، المنطقة المحددة، وهي 400 متر× 400 متر لتعطي تغطية بصرية لا تتعدى 30 في المائة (كمثال، فإن

عمليات ملاحظة المناطق المغمورة، أو الكاميرات المتطورة لا يتجاوز مجال رؤيتها عادة عشرة أمتار من مسار المسح). ويتضح أن النتوءات الكبريتيدية التي يمكن التعرف عليها بصريا، مثل الفوهات الكبريتيدية النشطة أو الخامدة، لا تغطي سوى 25 في المائة من المنطقة. وفي ضوء محدودية المسوحات البصرية، وأوجه عدم اليقين الكامنة في الحسابات، فإن قيمة هذه التقديرات للحجم الطني للرواسب ما زالت موضع جدال.

20 - ويتيح الحفر الثقة اللازمة لاستقراء ملاحظات السطح على القاع والحكم على مدى استمرارية نتوءات الكبريتيدات. وهناك مثالان يبينان أهمية الحفر للكشف عن رواسب الكبريتيدات في باطن الترسيبات. ففي سلسلة جبال خوان دي فوكا في الوادي الأوسط، وحوض اسكانابا في سلسلة جبال غوردا، يتميز قاع البحر بالعديد من الكتل المرتفعة من الترسيبات التي يصل قطر العديد منها إلى 100 متر وارتفاعها إلى 50 مترا. واتضح من عمليات الحفر وغيرها من عمليات المسح التفصيلية أن معظم هذه الهضاب عبارة في أغلبها عن طبقات سطحية من الصخور البركانية المدفونة. ومع ذلك، فإن الحفر الذي تم في إحدى هذه الهضاب في الوادي الأوسط (Bent Hill، الذي يبلغ طوله 90 مترا وعرضه 60 مترا) يقطعه 95 مترا من كتلة مصمته من الكبريتيدات تحت قاع البحر، وهضبة أخرى أصغر حجما مغطاة بالترسيبات، على بعد 300 متر منها (برنامج حفر الخام) حيث اتضح أيضا أنها تحتوي أساسا على كمية كبيرة من الكبريتيدات (Davis et al, 1992). وعلى النقيض من ذلك، يتبين من عمليات الحفر في تضاريس مماثلة تشبه الهضاب في حوض اسكانابا (270 مترا × 100 متر) أن الكميات الضخمة من الكبريتيدات قاصرة على مساحة صغيرة تقع على أعماق تتراوح بين 5 و 15 مترا فقط (Zierenberg and Miller, 2000).

21 - ولم يتسن الحصول على تقديرات موثوق بها عن حجم ترسيبات الكبريتيدات إلا في حالات قليلة توافرت فيها معلومات من عمليات الحفر. ففي الهضبة الأطلسية (200 متر × 45 مترا) وسط سلسلة المحيط الأطلسي، اتضح من حفر 17 ثقبا بعمق 125 مترا على الأكثر وجود كتلة تزن 2.7 مليون طن من الكبريتيدات المصمته التي تحتوي على 2 في المائة في المتوسط من وزنها نحاسا، و 1.2 مليون طن كتلة خام من التمعدن، تحتوي على 1 في المائة من وزنها نحاسا (Hannington et al., 1998). وفي Bent

Hill وهضبة الوادي الأوسط بالمحيط الهادئ، أوضحت أربعة ثقوب عميقة وجود كتلة مختلطة يتراوح وزنها بين 10 و 15 مليون طن (Fouquet et al., 1998; Zierenberg et al., 1998). وقد تكون ثاني أكبر رواسب في سلسلة وسط المحيط - على أساس ما يبدو من السطح - في حدود تتراوح بين 000 100 طن ومليون طن، وإن لم تتوافر معلومات من الحفر. ومع ذلك، فإن الغالبية العظمى من رواسب الكبريتيدات المعروفة تقل في حجمها كثيرا عن ذلك. ففرادى الهياكل والهضاب الكبريتيدية قلما يزيد قطرها عن عشرات الأمتار. وقلما يتعدى وزن كل منها بضعة آلاف من الأطنان. ففي سلسلة إنديفر، لم يزد مجموع كتل الكبريتيدات الثلاثين الممتدة على طول عشرة كيلومترات من السلسلة، عن 000 50 طن تقريبا. أما الرواسب الكبريتيدية في الجزء الخلفي من الجرف المقوس وفي المنحنيات البركانية غربي المحيط الهادئ، فهي مماثلة في أغلبها لحجم تلك الموجودة في سلاسل وسط المحيط.

22 - ويشوب عدم اليقين كذلك دقة التقديرات الخاصة بالوزن الكلي للكبريتيدات فيما يتعلق بخصائص الهضاب والفوهات الكبريتيدية. وقد استخدم هانغتون وآخرون (1998) كثافة ظاهرية تتراوح بين 3.5 و 4 في حساب وزن الكبريتيدات في هضبة وسط الأطلسي، بناء على قياسات الكثافة من السفن للحفر الأساسي. ولكن الكثافات الكلية الجافة لفوهات الكبريتيدات وطبقات القشرة والترسيبات من التكوينات الأخرى كانت أقل بكثير. فالكثافة الجافة لفوهات الكبريتيدات في مرتفعات شرقي المحيط الهادئ لا تتعدى 1-2 غرام/سم^3، وتتراوح نسبة الماء فيها في موقعها الطبيعي ما بين 25 في المائة و 50 في المائة (Crawford et al.). ويمكن توقع درجات كثافة أعلى بسبب الضغط، وملء المساحات المكشوفة وإعادة تبلور الكبريتيدات بالتحول الحراري المائي داخل الفوهات، وإن كان من الواضح أن هذه التأثيرات ليست متجانسة.

5 - مقارنات مع التعدين البري

23 - رغم القدر الكبير من عدم اليقين الذي يحيط بحجم تراكمات الكبريتيدات في قاع البحر، فالمتوقع أن يكون هذا الحجم مماثلا لأنواع معينة من رسوبات الكبريتيدات الأحفورية التي استخرجت من اليابسة. وهناك نموذجان ربما كان لهما صلة بذلك، فالترسيبات الكبريتيدية المصمتة

المعروفة باسم النمط القبرصي، ظلت تعتبر لفترة طويلة أفضل نموذج من العصور القديمة للكبريتيدات المتعددة المعادن التي تتشكل في سلاسل وسط المحيط وفي بيئات الأحواض الخلفية المقوسة المكتملة (Hunnington et, al, 1998، والمراجع الواردة). أما ترسيبات "الكوروكو" في اليابان، فهي تماثل الكبريتيدات المتعددة المعادن التي تظهر في البيئات البركانية المقوسة. ويفترض استخدام نماذج من العصور القديمة لأغراض التنبؤ، أن ظروف تكوين الخام كانت واحدة على امتداد الزمن الجيولوجي، حيث أن السجل الأحفوري يحتوي على رواسب من جميع العصور. ومع ذلك، فمن المستبعد أن يوجد اليوم أي شيء في قاع البحر يختلف كثيرا عما هو معروف بالفعل من هذه الرواسب ذات الأساس البري. وعليه فقد لا يقتضي الأمر نماذج فريدة عن درجة ووزن الكبريتيدات المتعددة المعادن الموجودة في زمن حديث في قاع البحر.

24 - وتشير البيانات المتوافرة عن ترسيبات النمط القبرصي، إلى أن متوسط حجمها يبلغ 1.6 مليون طن (الشكل: ألف - 5) وتميل هذه البيانات إلى إعطاء تقديرات عن ترسيبات كبيرة، لأن الأوزان والدرجات لا تذاع أو يفاد عنها إلا في حالة الرواسب ذات الحجم الذي يكفي لاستغلاله بصورة اقتصادية، فالغالبية العظمى من الرواسب الكبريتيدية إما صغيرة الحجم أو منخفضة الدرجة إلى الحد الذي لا تصلح معه للاستخراج، كما أن أعدادا كبيرة من الترسيبات الصغيرة غير مدرجة ضمن الاحتياطيات التي يعلن عنها. ومن بين ترسيبات النمط القبرصي، يوجد أكثر من 90 موقعا لا يتوقع استغلالها. ويحتوي كل منها على أكثر من 000 100 طن، وربما كان هناك مزيد منها ولكن أقل حجما ولم تعتبر قط أنها صالحة للاستغلال (Hannington et, al. 1998، والمراجع الواردة) وتشبه هذه الحالة العديد من الهضاب والفوهات الصغيرة المعزولة التي توجد فوق الأجزاء النشطة من السلاسل القائمة وسط المحيط. وعند إضافة المواقع الأخرى التي لا تبشر بالتطوير فإن المنحنى يميل كثيرا نحو الأوزان الصغيرة (الشكل: ألف - 5). وفي حالة الرواسب من النمط القبرصي، من المتوقع أن يصل متوسط حجم هذه الكتل، بما في ذلك الرواسب غير الاقتصادية إلى أقل من 000 500 طن.

25 - وخلال عمليات التعدين في رواسب "الكوروكو" في اليابان، كانت هناك سجلات دقيقة للأبعاد المادية للأماكن التي تستخرج منها الخامات. فمن

بين 44 موقعا للتعدين في حوض هوكوروكو، كان متوسط مساحات الأماكن التي تستخرج منها الخامات 200 متر× 200 متر تقريبا (Tanimora et al. 1983) وكانت مجموعات هذه المواقع تشغل مساحة تقل عن 100 كيلومتر مربع, وتضم عادة عشرة مواقع. وقد أورد سانغستر (1980) توزيعا مشابها لأماكن التعدين التي توجد بها كميات كبيرة من الكبريتيدات في كندا، حيث ذكر أن هناك في المتوسط 12 موقعا للتعدين في مساحة 84 كيلومترا مربعا. ومن بين هذه المواقع، كان موقع واحد منفرد يحتوي على 60 في المائة إلى 70 في المائة من مجموع احتياطيات المعادن، أما الموقع الثاني من حيث الحجم، فربما لم يشمل سوى 10 في المائة إلى 20 في المائة. وأقرب منطقة تالية تحتوي على كمية كبيرة من الرواسب قد تقع على بعد يتراوح بين عشرات إلى مئات الكيلومترات. وفيما أفادت هذه المقارنات في تحديد الأحجام المستهدفة لاستكشاف الكبريتيدات المتعددة الفلزات في قاع البحر، فمن المهم التذكير بأن المناطق الممثلة في مناطق التعدين القديمة تشمل عادة رواسب مكشوفة في عدد من الطبقات الجيولوجية المختلفة (أي أن الرواسب التي قد توجد مكشوفة فوق سطوح اليابسة التي تعرضت للتآكل هي أكثر بكثير من تلك التي قد توجد مكشوفة فوق قاع البحر المنبسط).

26 - ويوحي توزيع رواسب الكبريتيدات بحسب أحجامها في أغلب مناطق قيعان البحار بأن معدلات الاستغلال قد تستنفد الموارد الموجودة في مساحة 500 2 كيلومتر مربع في غضون سنة واحدة، مقارنة بمعدلات الاستغلال المتبعة في مواقع التعدين البرية. وباستثناء حالات محددة للغاية، لا بد من البحث عن موارد إضافية للمحافظة على استدامة عمليات الاستغلال لعدة سنوات في مناطق أخرى.

6 - مقارنة مع الاستكشاف التجاري لقاع البحر في المناطق الاقتصادية الخالصة

27 - تشكل تراخيص الاستكشاف التجاري التي مُنحت لشركتين، وهما "نوتيلوس مينيرالز" في حوض نهر مانوس الشرقي في بابوا غينيا الجديدة. "ينبتيون مينيرالز" في منطقة قوس تونغا - كيرماديش في نيوزيلندا أمثلة بالغة الدلالة على القيود التي تفرضها النماذج المختلفة للاستكشاف واختيار مناطق التأجير. وكان مجموع مساحة المناطق التي تغطيها تراخيص التنقيب

الأصلية لشركة نيبتيون مينيرالز في نيوزيلندا هو 000 33 كيلومتر مربع في سنة 1999، ثم خُفضت إلى امتياز مساحته 790 7 كيلومترا مربعا (24 في المائة) في سنة 2003. وبلغ مجموع المساحة التي تغطيها تراخيص الاستكشاف الممنوحة لشركة نوتيلوس مينيرالز في بابوا غينيا الجديدة 000 15 كيلومتر مربع في سنة 1996. ويوجد الموقعان الواعدان أكثر من غيرهما اللذان يتم استكشافهما في الوقت الحاضر في حوض نهر مانوس الشرقي، داخل منطقة مساحتها 500 2 كيلومتر مربع (17 في المائة). ولم يتح في نطاق الامتيازات الممنوحة لكل من شركة نيبتيون مينيرالز و نوتيلوس مينيرالز إدراج مواقع وجود الكبريت المعروفة ضمن ترخيص استكشاف واحد يغطي 100 قطعة متاخمة (الشكل ألف 6).

التذييل 2: الأشكال

1 - الشكل ألف 1 - مثال لمنطقة مساحتها 5 درجات في 5 درجات في شمال شرق المحيط الهادئ (نطاقات كونتور التواتر 000 1 متر)، تتداخل مع الارتفاع المتطاول لخوان دوفوكا ووجود رواسب معروفة من الكبريتيات المتعددة الفلزات في الارتفاع المتطاول Southern Explorer، والوادي الأوسط، والارتفاع المتطاول انديفر.

2 - الشكل ألف 2 - يمثل هذا الشكل خريطة مساحتها 30 دقيقة في 30 دقيقة من الارتفاع المتطاول انديفر (نطاقات كونتور التواتر 100 متر) تبين مواقع وجود عروق متمايزة من الكبريت يفصلها عن بعضها البعض مسافات تتراوح بين كيلومترين و 3 كيلومترات.

3 - الشكل ألف 3 - يبين هذا الشكل توزيع أماكن وجود الكبريت في الحقل الحراري المائي وسط الأطلسي الارتفاع المتطاول لوسط المحيط الأطلسي (Humphris et al., 1995). وتقع كُتل الكبريتيات الضخمة الرئيسية الثلاث (TAG, MIR, Alvin) داخل منطقة مساحتها حوالي 25 كيلومترا مربعا.

4 - الشكل ألف 4 - خريطة تبين مسحا للرواسب المغمورة "Sunrise"، على بركان نول مايوجين المغمور قوس إيزو - بونن (Lizasa et al., 1999). وتبلغ مساحة المنطقة الموصوفة لأنشطة تمعدن الكبريت 400 متر × 400 متر. واستنادا إلى تكوين تضاريس لمسافة 30 مترا وكثافة ظاهرية بنسبة

1.9 غرام/سم^3، ثم احتساب تراكم مجموعة 9 مليون طن من الرواسب الكبريتيدية الضخمة. بيد أن الدراسات المسحية التي تستند إلى الملاحظات القاعية أو التصوير بالكاميرات عادة ما يكون لها حقل رؤية لا يتجاوز عشرة أمتار وراء المسار المسحي. وفي الخريطة المعروضة، تغطي دراسات مسحية لا تتجاوز خطا بمقدار 5 كيلومترات مساحة 400 × 400 متر من المنطقة المحددة، بما يتيح تغطية بصرية لا تتجاوز نسبة 30 في المائة. وتظهر الطبقة الكبريتيدية البارزة الممكن تحديدها بصريا (أي المداخن الكبريتيدية النشطة أو الخامدة) التي تغطي نسبة 25 في المائة فقط من المنطقة. وفي ضوء محدودية الدراسات المسحية البصرية، وغياب أي معلومات عن أعمال الحفر، فضلا عن عدم وجود كبريتيدات مترسبة على قاع بحري مسطح، لا يمكن تأكيد حجم الكميات بالأطنان.

5 - الشكل ألف 5 - نموذج مقدر بالأطنان لـ 49 من الترسبات الكبريتيدية الضخمة المعروفة باسم النمط القبرصي، يبين نطاقا لأحكام الترسبات. ويرد بيان متوسط الحجم الطني (نسبة 50 في المائة) بمقدار 1.6 مليون طن. وهذه البيانات المنقطة مستقاة من سنغر وموزير (1986)، وهي تقتصر على الترسبات ذات الحجم الذي يكفي لتعدينها اقتصاديا، أو التي أُبلغ عن وجود احتياطيات لها. والغالبية العظمى من رواسب الكبريتيد هي إما ضئيلة الحجم أو متدنية النوعية، بدرجة لا تسمح بتعدينها، وهناك أعداد كبيرة من الرواسب الصغيرة التي لا تدرج في الاحتياطيات المنشورة. ويشمل ذلك ما يزيد على تسعين منطقة تنقيب غير مستغلة يحتوي كل منها على أكثر من 100 000 طن (Hannington et al., 1998، والمراجع الواردة)، ويحتمل وجود كميات أخرى أصغر بكثير لم ينظر إليها قط باعتبارها صالحة للتنقيب. وعندما تدرج مناطق التنقيب غير المستغلة، تتحرك المنحنيات تجاه أحجام طنيّة أقل بشكل ملحوظ، كما سبق بيانه. وفيما يخص ترسبات النمط القبرصي، يتوقع أن يكون الحجم المتوسط، بما في ذلك مناطق التنقيب غير المطورة، اقل من 500 000 طن.

6 - الشكل ألف 6 - يطرح أمثلة من تراخيص الاستكشاف التجاري في بابوا غينيا الجديدة ونيوزيلندا. وكان مجموع المساحة التي تغطيها تراخيص التنقيب الأصلية لشركة نيبتيون مينرالز بنيوزيلندا (ألف) هو 33 000 كيلومتر مربع في سنة 1999، ثم خُفضت حيازة مساحتها 790 7 كيلومتر

مربع (24 في المائة) في سنة 2003 (www.neptuneminerals.com). وبلغ مجموع المساحة التي تغطيها تراخيص شركة نوتيلوس مينيرالز في بابوا غينيا الجديدة (باء) 15 000 كيلومتر مربع في سنة 1996، وتم الآن تحديد مساحة قدرها 2 500 كيلومتر مربع (17 في المائة) باعتبارها تحتوي على أفضل منطقتين واعدتين في حوض نهر مانوس الشرقي (www.nautilusminerals.com). وفي هذه الأمثلة، لم تكن تراخيص الاستكشاف المستندة إلى 100 قطعة متتاخمة تسمح بإدراج جميع كميات الكبريت المعروفة ضمن امتياز واحد (انظر التذييل 3).

التذييل 3: خرائط تخص 32 منطقة مؤاتية لوجود رواسب الكبريتيدات المتعددة الفلزات

1 - اختيرت مناطق يُعتبر أنها تسمح بإمكانية وجود كبريتيدات متعددة الفلزات في مساحات تغطيها 32 خريطة بمقياس 5 درجات × 5 درجات. وحُددت منطقة التنقيب اعتباطيا باعتبار مساحتها تقل عن 5 درجات × 5 درجات، وأنها تحتوي على وجود راسب كبريتيدي واحد معروف، أو في ضوء أي دلالات إيجابية أخرى على إمكانيات التمعدن كما رُسمت شبكة بدرجة 0.1 على كل خريطة في المناطق التي يُعتبر أنها مؤاتية لوجود الكبريتيدات المتعددة الفلزات ويمكن القيام بأنشطة الاستكشاف فيها. وتناظر هذه الشبكة تقريبا أحجام قطع مساحة كل منها 10 كيلومترات × 10 كيلومترات (0.1 × 60 نانومترا × 1 852 كيلومترا = 11.11 كيلومترا من حيز الفراغات الشبكية). وتستخدم الدرجات العشرية لتسهيل تحديد مواقع الكبريت. وفي كل حالة على حدة، يُقصد من وضع الشبكة تغطية جميع المناطق المؤاتية استنادا إلى السمات الجيولوجية العامة لكل منطقة تغطيها الخرائط، على النحو الذي تناقشه هذه الورقة. وفي النماذج المعروضة في الورقة، يناظر حجم المناطق المؤاتية نحو 20 ضعفا من حجم التخصيص النهائي للقطع في نهاية مدة الخمس عشرة سنة لدورة الاستكشاف (20 × 25 قطعة).

التذييل 4: خرائط تمثل 12 نموذجا لمناطق الاستكشاف

1 - تم قياس نماذج لمناطق الاستكشاف باستخدام خرائط مساحتها 5 درجات في 5 درجات و 1 000 متر من نطاقات التواتر لاثنتي عشرة

دراسة إفرادية في المنطقة. وترد نماذج تبين الكيفية التي قد يتسنى بها تخفيض هذه المناطق إلى الحد الأدنى لمناطق الاستكشاف الممكن تأجيرها وفقا لجدول التخلي المقترح في مشروع القواعد التنظيمية (50 في المائة من المنطقة المخصصة بعد خمس سنوات، و 75 في المائة بعد عشر سنوات، و 25 قطعة، كحد أقصى، بعد 15 سنة).

التذييل 5: خرائط مفصلة لمناطق مختارة بنطاقات تواتر كونتوري 100 متر

1 - توضح مجموعة من الخرائط مرسومة على أساس 30 دقيقة × 30 دقيقة (نطاقات تواتر كونتوري بمقدار 100 متر) اختيار مناطق مؤاتية في الحالات التي قد تتوافر فيها معلومات عن قياسات الأعماق أكثر تفصيلا. والبيانات المطروحة هنا مستقاة من قائمة مركز الولايات المتحدة الأمريكية الوطني للبيانات الجيوفيزيائية لقياسات الأعماق متعددة الأحزمة (http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/multibeam.html) ويمكن استخدام هذه الخرائط للحد كثيرا من الحجم المبدئي للمنطقة المؤاتية وإن كانت البيانات لا تتوافر لجميع أجزاء المحيطات.