

**Совет**

Distr.: General
27 June 2006
Russian
Original: English

Двенадцатая сессия
Кингстон, Ямайка
7–18 августа 2006 года

Модель участка разведки и добычи кобальтоносных железомарганцевых корок и полиметаллических сульфидов применительно к выбору блоков

Часть II Полиметаллические сульфиды

Подготовлено Секретариатом*

I. Введение

1. На океанском ложе известно более 300 участков подводного гидротермального излияния и приуроченной к нему минерализации. Примерно на 100 таких участках встречаются полиметаллические сульфиды (рисунок 1 и таблица 1)¹. Наиболее заметными особенностями этих участков являются высокотемпературные (примерно 350°C) жерла «черных курильщиков», однако обнаружен целый ряд и других типов минерализации. Примерно 40 процентов известных участков расположено в Районе. По ряду причин, включая как юридические, так и технические, ведшаяся в последнее время коммерческая разведка донных полиметаллических сульфидов ограничивалась теми местами их залегания, которые расположены в пределах объявленных исключительных экономических зон (ИЭЗ) (рисунок 2). В настоящем документе рассматриваются критерии и возможные модели выделения блоков под разведку в Районе. В документе приводится научная мотивировка для отбора участков под поиск и для установления графика отказа от выделенных блоков на этапе разведки.

2. Представлены практические иллюстрации выделения блоков в районах известного залегания сульфидов с применением как «прилегающих блоков»,

* Настоящий документ представляет собой резюме более развернутого исследования, подготовленного консультантами Марком Хэннингтоном и Томасом Монеке из Оттавского университета (Канада). Полностью с этим исследованием (вместе с сопровождающими его картами и добавлениями) членам Совета можно будет ознакомиться на веб-сайте Органа.

¹ Для удобства воспроизведения настоящего документа-резюме в нем опущены рисунки и таблицы.



так и «групп прилегающих блоков». С помощью целого ряда возможных отборочных критериев и процедур мы сопоставляем две модели выдачи разведочных лицензий на 32 разных района, по которым есть сведения о наличии как минимум одной залежи полиметаллических сульфидов, в том числе на 12 в Районе (рисунок 3). Оптимальность этих моделей ведения разведочных работ (с точки зрения их действенности при отборе известных залежей полиметаллических сульфидов и при отказе от тех участков, где полиметаллических сульфидов нет) рассматривается в глобальном, региональном масштабе и в масштабе конкретного участка начиная с этапа поиска и до отбора наиболее перспективных блоков, оставляемых по окончании разведки. В этих моделях учитываются:

- a) геологические ограничения, обнаруживаемые на перспективных участках;
- b) известное распространение полиметаллических сульфидов;
- c) характеристики отдельно взятых сульфидных залежей.

С помощью данных, приводимых в настоящем документе, можно опробовать и другие модели, которые могут оказаться более подходящими.

3. Полиметаллические сульфиды обладают рядом важных свойств, которые радикально отличают их от корок и конкреций (по геологической обстановке, распространению и сплошности), и эти свойства необходимо учитывать при отборе участка. Размеры разных залежей могут составлять от не более чем нескольких десятков до нескольких сотен метров, тогда как корки покрывают более крупные площади морского дна и характеризуются большей физической непрерывностью (исчисляемой, например, километрами: Hein et al., 1999). Эти отличия требуют фундаментально разных подходов к разведке.

4. Аналитические выкладки, приводимые в настоящем документе, опираются на нынешнее состояние знаний о размерах и распространении залежей полиметаллических сульфидов. Не берутся какие-либо посылки насчет возможных экономических или технических факторов, ограничивающих разведку полиметаллических сульфидов в обсуждаемых районах. В предлагаемых здесь моделях учитывается только разведочный этап и не рассматривается сама добыча, если не считать расчета минимального размера блоков, который может быть необходим для многолетней эксплуатации. Когда в настоящем документе приводятся примеры возможных выделяемых блоков, это не предполагает экономической оценки конкретных залежей или участков морского дна. Могут упоминаться сульфидные залежи, отвечающие возможным коммерческим критериям, однако экономически значимые показатели не рассматриваются и не выводятся. Все приводимые примеры предназначены строго для иллюстрации и ни в коей мере не предполагают того, что в том или ином районе могут действительно присутствовать ресурсы, подходящие для коммерческой разработки. Информация, приводимая в настоящем документе, в том числе сведения о площади и мощности прилегающих друг к другу сульфидных тел, объемной плотности, сортности металлов или других минералогических и металлургических характеристиках, непригодна для того, чтобы делать выводы о наличии ресурса, каковое и не предполагается; речь идет лишь о гипотетических примерах или о тех случаях, когда имеется информация, которой такие примеры можно обосновать. Всякие ссылки на коммерческие предприятия, занимаю-

щиеся разведкой донных полиметаллических сульфидов, также предназначены сугубо для иллюстрации и не призваны служить одобрением действий или программ таких компаний или рекомендацией в пользу их использования как возможных моделей для внедрения в Районе. Вопрос о соответствии Конвенции или предлагаемому проекту правил поиска и разведки полиметаллических сульфидов и кобальтоносных железомарганцевых корок в Районе (ISBA/10/C/WP.1/Rev.1*) не разбирается — за исключением мест, где идет речь о проектировании моделей разведки.

II. Терминология

5. Для целей настоящего документа и представляемых ниже моделей используется следующая терминология:

а) «поисковый район» — предварительный район, в котором могут присутствовать донные полиметаллические сульфиды, или район, допускающий наличие сульфидов; часть такого района может быть выделена под разведку по смыслу проекта правил. В 32 примерах, рассматриваемых в настоящем документе, поисковым районом условлено считать район, размер которого составляет менее $5 \times 5^\circ$ и в котором имеется по крайней мере одна известная сульфидная залежь или иной позитивный признак минерализации. В действительности же поисковый район при отсутствии каких-либо признаков минерализации может быть идентифицирован исключительно на основе подходящей геологии;

б) «разведочный район» — «лицензируемый» участок или надел поискового района, состоящий из нескольких прилегающих или не прилегающих друг к другу блоков, зарезервированных для более детальной разведки. Обычно это участок, размер которого составляет не более 1° по долготе и 1° по широте и на котором имеется по крайней мере одна известная сульфидная залежь или иной позитивный признак минерализации. В моделях, представленных в настоящем документе, размер разведочного района соответствует 100 блокам площадью по 10×10 км каждый согласно указаниям проекта правил;

с) «выделяемый блок» — участок разведочного района, составляющий примерно 10×10 км и имеющий площадь не свыше 100 км^2 согласно определению в проекте правил;

д) «подходящий район» — участок поискового района, обладающий рядом геологических свойств, наличие которых считается совершенно необходимым для формирования полиметаллических сульфидов. При определении границ подходящего района обычно используется два ключевых индикатора: признаки тектонической активности и признаки донного вулканизма. Как правило, эти явления необходимы для приведения в движение гидротермальной циркуляции и для ориентации гидротермальных флюидов в направлении морского дна, где могут откладываться металлы. Подходящий район может включать залежи полиметаллических сульфидов или иные позитивные признаки минерализации, однако это требование не является обязательным;

е) «наиболее перспективный район» — район, который отбирается для детальной разведки и имеет обычно как минимум одну сульфидную залежь. В моделях, представленных в настоящем документе, наиболее перспективные

районы — это, как правило, те блоки, в которых встречается не одна сульфидная залежь, а несколько.

f) «Сульфидная залежь» — самостоятельное тело полиметаллических массивных сульфидов (например, трубо- или холмообразное) либо комплекс таких тел в четко очерченном районе (например, поле трубообразных тел), обычно, но не обязательно приуроченное к действующим гидротермальным источникам. Когда залежь состоит из нескольких сульфидных тел, подразумевается определенная степень непрерывности или кучкования (например, наличие нескольких трубо- или холмообразных тел на участке, размеры которого меньше расстояния до следующего такого комплекса). Наиболее перспективные районы на площади, на которую выдается разведочная лицензия, содержат как минимум по одной такой залежи.

6. В настоящем документе не проводится юридическое или техническое различие между «поиском», который обычно не предполагает исключительных прав по смыслу проекта правил, и «разведкой», которая такие права предполагает. Поиск может осуществляться в нескольких местах, определенная часть которых может быть выделена на основании плана работы по разведке, как это иллюстрируется в приводимых ниже моделях. Термин «месторождение» употребляется в настоящем документе только в тех случаях, когда речь идет о массивных сульфидных месторождениях, которые рентабельно разрабатывались на суше. Это делается во избежание путаницы по поводу того, что можно считать месторождением на морском дне. В научной литературе термин «месторождение» употребляется в разных случаях для описания самых разных образований, включая индивидуальные сульфидные холмы, целые гидротермальные поля и даже целые географические регионы.

7. Другие термины, употребляемые в настоящем документе, определены в проекте правил поиска и разведки полиметаллических сульфидов и кобальтоносных железомарганцевых корок в Районе.

III. База данных

8. Районы, подвергаемые в настоящем документе анализу, были отобраны по глобальной базе данных о донных полиметаллических сульфидах и приуроченных к ним гидротермальных системах (Hannington et al., 2002, 2004). Эта база данных состоит из двух частей, которые были подготовлены отдельно друг от друга для Центрального хранилища данных Международного органа по морскому дну в 2002 и 2004 годах. Первая — это цифровая база данных с указанием расположения и описанием более чем 300 мест залегания донных полиметаллических сульфидов и приуроченной к ним гидротермальной активности. Вторая — это подборка опубликованных результатов геохимического анализа более чем 2600 проб донных полиметаллических сульфидов (61 000 записей). По этим данным было отобрано 32 подходящих района, чтобы опробовать модели выдачи разведочных лицензий, в том числе 12 в Районе.

9. Батиметрические данные, использовавшиеся для определения первоначальных поисковых районов, были выведены из цифрового атласа морского дна, выполненного как Генеральная батиметрическая карта океанов (ГЕБКО) с 1-минутной сеткой (General Bathymetric Charts of the Oceans, British Oceanographic Data Centre, 2003). Хотя стандартный интервал между изолиниями по

ГЕБКО составляет 500 м, в настоящем исследовании использовался 1000-метровый интервал для удобства отображения данных. Аналогичные региональные карты можно также создать с помощью глобальных прогнозируемых батиметрических данных, выведенных Смитом и Сэндуэллом (Smith and Sandwell, 1997). Эти данные с 2-минутной сеткой, базирующиеся на спутниковых гравитационных измерениях, обладают тем преимуществом, что они охватывают более удаленные и недоступные области морского дна.

10. Районы, допускающие наличие полиметаллических сульфидов, были отобраны по картам $5 \times 5^\circ$. Эти карты приводятся в добавлении 3. Карты, иллюстрирующие применение моделей разведки в этом масштабе, приведены в добавлении 4. На каждую карту в тех районах, которые считаются допускающими наличие полиметаллических сульфидов и где мог бы осуществляться поиск, наложена сетка с интервалом $0,1^\circ$. Эта сетка соответствует блокам размером примерно по 10×10 км каждый ($0,1 \times 60$ мор. миль $\times 1,852$ км = 11,11-километровый интервал сетки). Дробные величины используются для простоты отображения мест залегания сульфидов. В каждом случае наложение сетки основывается на ряде различных критериев, которые обсуждаются в добавлении 2.

11. Несколько примеров карт $30 \times 30'$ (со 100-метровым интервалом между изолиниями) иллюстрируют распространение сульфидных залежей на выборочных участках, по которым может иметься более подробная батиметрическая информация. Эти карты приводятся в добавлении 5. Более подробная батиметрия может быть использована для того, чтобы существенно сократить первоначальный размер подходящего района, однако такие данные имеются не по всем акваториям океана.

IV. Модели для отбора выделяемых блоков

12. Районы, допускающие наличие полиметаллических сульфидов, были отобраны по 32 картографическим участкам размером $5 \times 5^\circ$ с учетом примерных геологических свойств каждого участка, изложенных в добавлении 2 (например, наличие хребтовых гребней, внеосевых подводных гор, вулканических дуг, тыловодужных впадин и т. д.). Был рассмотрен целый ряд физических характеристик донных полиметаллических сульфидов, в том числе дистанции между месторождениями и вероятная их мощность. За более подробной информацией читателю следует обратиться к добавлению 2 и к обзорным материалам по этой теме (Hannington et al., 1995, 2005; Herzig and Hannington, 1995, 1999, 2000). Кроме того, дополнительные сведения можно почерпнуть из технического исследования, опубликованного Международным органом по морскому дну (Technical Study No. 2 on Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-rich Ferromanganese Crusts — Status and Prospects). Отборочный процесс ограничивается до определенной степени батиметрической детализацией построенных карт. При использовании данных ГЕБКО с 1000-метровым интервалом между изолиниями в первоначально отобранные районы включены крупные участки, расположенные по краям перспективных геологических элементов (например, склоны хребтов), — из-за неопределенности геологии морского дна. Чтобы сократить неопределенность при отборе подходящих районов, можно использовать батиметрические данные более высокого разрешения; об этом см. ниже (глава V «Результаты»).

13. В добавлении 4 представлен ряд моделей, которые иллюстрируют, как сократить количество этих участков, сведя его к минимальному количеству выделяемых под разведку блоков, в соответствии с графиком отказа от участков, предлагаемым в проекте правил (5) процентов от выделенного района после 5 лет, 75 процентов после 10 лет и максимум 25 блоков после 15 лет). Ожидается, что при удачном проведении разведочных работ в окончательно выделяемых 25 блоках будет обнаружено достаточно полиметаллических сульфидов, чтобы можно было вести многолетнюю разработку, определяемую здесь как коммерчески рентабельная разработка в течение более чем года. Предложены различные модели для многолетней разработки (например, от 1 до 2 млн. т в год), хотя сортность, темпы добычи и другие технические аспекты не уточнены. Предлагаемые модели разработки базируются на сопоставлениях с коммерческими добычными операциями на суше. Это разумный подход, поскольку необходимо исходить из того, что любой будущей разработке морского дна придется конкурировать с добычной деятельностью на суше.

14. Скопления, мощность которых превышает 1 млн. т, могут быть сосредоточены на одном крупном участке (например, Трансатлантический геотраверс (ТАГ), Мидл-Валли), а скорее, на нескольких участках в пределах более крупного района. Размер района, который будет вероятнее всего содержать такое количество массивных сульфидов, неизвестен. Он может соответствовать 20 блокам мощностью по 50 000 т каждый, 2 блокам мощностью по 500 000 т каждый или 1 блоку мощностью более 1 млн. т. Однако, судя по сопоставлениям с месторождениями ископаемых, мы считаем, что медианная мощность наиболее перспективного блока размером 10×10 км будет составлять не более 500 000 т (см. добавление 2). Можно ожидать, что лишь у немногих блоков такого размера мощность составит более 1 млн. т, причем у большинства она составит не более 50 000 т. Из 100 залежей, рассмотренных в настоящем исследовании, за исключением «Атлантис II дип», лишь на двух бурением было установлено наличие более 1 млн. т массивных сульфидов. Менее пяти других обладают размерами, которые могли бы соответствовать мощности свыше 1 млн. т. Из них лишь две расположены в Районе (ТАГ и 13° с. ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП)).

15. Картирование сульфидных залежей на морском дне показало, что, отдельно взятые, они занимают площадь не более 1 км в диаметре, так что можно ожидать, что разработка любой конкретной залежи сульфидов не будет затрагивать площадь, выходящую за эти параметры. Ни в одном из случаев ожидаемые размеры одной залежи не превышают минимальных — блок 10×10 км. В большинстве случаев блоки, на которых возможна разработка, не будут прилегать друг к другу и могут не представлять собой подраздел единого первоначального разведочного района. Блоки, рассматриваемые на предмет разработки, возможно, потребуется отбирать из нескольких не прилегающих друг к другу разведочных районов и разбивать между двумя и более наделами. В приводимых ниже примерах показано, как на этапе разведки может происходить выделение прилегающих и не прилегающих друг к другу блоков.

А. Разведочная модель 1 (прилегающие блоки)

16. В этой модели по каждому району размером $5 \times 5^\circ$ были отобраны участки с подходящей геологией, которые физически окаймляются отрезками хребтов или другими геологическими структурами аналогичного масштаба и содержат как минимум одну залежь полиметаллических сульфидов или иной позитивный признак минерализации (см. добавление 3). Каждый подходящий район соответствует примерно 500 прилегающим друг к другу блокам размером по 10×10 км каждый ($50\,000\text{ км}^2$). Это примерно в 20 раз превышает размер окончательного участка, выделяемого под разработку, по смыслу проекта правил (20×25 блоков = 500 блоков).

17. Для детальной разведки, которая может быть определена в плане работы, был отобран единый разведочный район в составе 100 прилегающих друг к другу блоков размером по 10×10 км каждый ($10\,000\text{ км}^2$). В этой модели был отобран разведочный район, в котором имеется по крайней мере одна из известных сульфидных залежей из района размером $5 \times 5^\circ$ (например, рисунок 4), причем этот район составляет не более 20 процентов от первоначального поискового района. В каждом случае было отобрано 100 наиболее перспективных блоков (сведенных в квадраты по 25 блоков), причем таким образом, чтобы они включали как можно больше известных залежей сульфидов. Такой порядок копирует процесс отбора, который, как можно ожидать, будет происходить в подходящем районе на первом этапе разведки. Этот район сокращается до 50 прилегающих друг к другу блоков через 5 лет и до 25 — через 10 (рисунок 4).

18. В качестве окончательно выделяемого участка в разведочном районе был отобран единый участок в составе 25 прилегающих друг к другу блоков размером 10×10 км каждый (2500 км^2), где имеется по крайней мере одна известная сульфидная залежь. В этой модели окончательно выделяемые блоки были отобраны таким образом, чтобы содержать максимальное количество известных сульфидных залежей на площади, составляющей не более 25 процентов от первоначального разведочного района (рисунок 4).

В. Разведочная модель 2 (неприлегающие блоки)

19. В этой, второй модели разведочный район разбит на четыре группы, каждая из которых состоит из 25 блоков и содержит известную сульфидную залежь или иной позитивный признак гидротермальной активности на общей площади $10\,000\text{ км}^2$ (например, рисунок 5). На этапе разведки будет производиться многоступенчатый отказ от частей каждой группы прилегающих друг к другу блоков, причем в итоге останется 25 неприлегающих блоков размером по 10×10 км каждый, в которых будут сосредоточены все известные залежи сульфидов из района, первоначально составлявшего $10\,000\text{ км}^2$. Хотя данный аспект здесь не рассматривается, на некоторых участках необходимо будет отобрать оптимальные блоки из нескольких разведочных районов площадью по $10\,000\text{ км}^2$ каждый. Нет гарантий того, что на этапе разведки будут правильно определены наиболее перспективные блоки, однако резонно ожидать, что разведчики смогут применить надлежащие критерии для максимально верного отбора групп блоков, в которых содержатся сульфиды.

V. Результаты

A. Отбор подходящих районов и районов под разведку

20. Из 32 районов размером $5 \times 5^\circ$, рассматриваемых в настоящем исследовании, средняя площадь с геологией, допускающей наличие полиметаллических сульфидов, составляет $55\,000\text{ км}^2$ (см. таблица 2). Были отобраны примеры районов приблизительно одинакового размера: 20 примеров в национальных ИЭЗ и 12 — в Районе. Подходящие районы в одних ИЭЗ имеют меньший размер из-за близости к суше и многочисленности островов. В других ИЭЗ размер подходящих районов больше из-за выбора как тыловодужных участков, так и преддуговых вулканов. Разница в размере подходящих районов, отобранных в качестве примеров из Района, меньше, чем во многих ИЭЗ, поскольку спрединговые центры срединно-океанических хребтов в Районе, как правило, более сложны в геологическом отношении. Во всех случаях районы, определяемые как допускающие наличие полиметаллических сульфидов, существенно превышают $10\,000\text{ км}^2$ — т.е. ту площадь, которую занимал бы единый разведочный район в составе лишь 100 блоков размером по $10 \times 10\text{ км}$ каждый.

21. Интерполяция данных ГЕБКО и оснащение их сеткой с 500-метровым интервалом между изолиниями и 1-минутным диапазоном способны выявить дополнительные детали морского дна, которые могут оказаться полезными при отборе более мелких подходящих районов, благодаря чему площадь районов, отбираемых первоначально, может в потенциале сократиться ни много ни мало наполовину. Это иллюстрируется примером северо-восточной части Тихого океана, где подходящий район, отбираемый на основании данных ГЕБКО, составляет $55\,000\text{ км}^2$, тогда как при использовании 100-метрового интервала между изолиниями можно было бы отобрать подходящий район площадью около $25\,000\text{ км}^2$ (добавление 5). Даже при наличии батиметрических данных более высокого разрешения не всегда рекомендуется исключать глубоководные или плоские участки, окаймляющие хребты. Примером данной проблемы является залежь в Мидл-Валли, которая (в силу того, что она расположена не по оси от центра спрединга) могла бы не попасть в первоначально отобранные подходящие районы даже при использовании 100-метрового интервала между изолиниями. Поэтому 10-кратное увеличение разрешения батиметрических данных в масштабе $5 \times 5^\circ$ необязательно приводит к 10-кратному сокращению площади района, отбираемого в качестве допускающего наличие полиметаллических сульфидов. Ограничение разведки более мелкими глубинами (например, менее 2500 м) по не уточненным пока технологическим соображениям тоже оставило бы за скобками многие участки, которые весьма перспективны с точки зрения встречаемости полиметаллических сульфидов, включая большую часть Района. Если внутри национальных ИЭЗ большая доля известных полиметаллических сульфидов встречается на глубине менее 2500 метров, многие места их залегания в Районе расположены на глубине вплоть до 4000 метров (рисунок 6 и таблица 1).

22. Среднее количество сульфидных залежей в каждом из подходящих районов площадью примерно по $55\,000\text{ км}^2$ составляет 3,4 (таблица 2). Примеры по Району дают слегка бóльшую среднюю величину (3,7), что отражает то количество мелких залежей сульфидов, которая характерна для быстроспрединговых хребтов. Анализ всех 106 сульфидных залежей, приводимый в добавле-

нии 3, дает следующую среднюю дистанцию между залежами в каждом районе размером $5 \times 5^\circ$: 98 км (таблица 2). В Районе средняя дистанция составляет 95 км ($n = 43$). Хотя на медленноспрединговых хребтах дистанция (167 км) больше, чем на быстроспрединговых (46 км), мощность отдельно взятых сульфидных залежей на первых в среднем выше. Эти данные позволяют говорить о том, что выделяемый под разведку участок площадью всего 10 000 км² будет, скорее всего, включать лишь какую-то долю известных залежей в данном районе. Учитывая, что гидротермальные жерла разнесены далеко друг от друга, блоки может потребоваться выделять в ряде разных мест в самостоятельных, а возможно, раздельных подходящих районах. Хотя отказ от неблагоприятных участков можно будет систематически производить так, чтобы сохранить непрерывную расположенность оставляемых блоков, более вероятна ситуация, когда разведчики будут быстро выявлять наиболее благоприятные участки и устанавливать количество не прилегающих друг к другу перспективных блоков.

В. Сопоставление моделей 1 и 2

23. В модели 1 среднее количество сульфидных залежей в 100 из наиболее перспективных блоков, или на площади 10 000 км², составляет 2,5. В примерах, отобранных по Району, было обнаружено слегка более высокое в среднем количество залежей: 2,7. В среднем разведочный район в составе 100 прилегающих друг к другу блоков охватывает 73 процента известных залежей сульфидов в подходящем районе. В примере, показанном на рисунке 4, две залежи остались за пределами первоначального разведочного района, а от еще одной пришлось отказаться, чтобы сохранить непрерывное расположение блоков на окончательно отобранном участке. В этом примере окончательные 25 прилегающих друг к другу блоков содержат лишь две из четырех сульфидных залежей, которые имелись в первоначальном подходящем районе. В среднем в окончательных 25 блоках оказывается лишь 53 процента известных сульфидных залежей из подходящего района (таблица 2).

24. В модели 2 разведочные районы были разбиты на четыре подрайона, каждый из которых состоял из 25 наиболее перспективных блоков (с той же общей площадью — 10 000 км²). В этом случае оказалось возможным охватить 97 процентов известных сульфидных залежей в пределах 100 наиболее перспективных блоков. В тех немногих случаях, когда залежи сульфидов оказывались за пределами 100 наиболее перспективных блоков, общее количество залежей получалось более высоким, чем их могло содержаться в четырех подрайонах. Для большинства районов размером $5 \times 5^\circ$ потребуется применять не прилегающие друг к другу блоки, чтобы охватить все известные сульфидные залежи из подходящего района.

VI. Выводы и рекомендации

25. Проект правил поиска и разведки вряд ли можно будет применять одинаковым образом как к коркам, так и полиметаллическим сульфидам. Районы, допускающие наличие полиметаллических сульфидов, являются крупными, однако залежи более разрозненны, а участки, которые можно рассматривать на

предмет разработки, мельче, чем в случае корок. В отличие от корок, ограниченных в основном подводными горами, которые можно легко установить батиметрической съемкой, для первоначальных этапов поиска полиметаллических сульфидов могут быть отобраны крупные участки. Площадь таких участков можно быстро сократить в течение первых 5–10 лет, сведя ее к наиболее перспективным участкам, однако разведке, возможно, потребуется подвергнуть большую площадь, чтобы обеспечить вероятность выявления подходящих эксплуатационных ресурсов. В большинстве случаев единый разведочный район площадью 10 000 км² слишком мал, чтобы охватить все полиметаллические сульфиды, которые могут встретиться в перспективном районе размером 5 × 5°. Для более крупных районов предлагаемый график отказа от участков может не позволить оценить все участки достаточно подробно, чтобы не допустить преждевременного отказа от перспективных блоков.

26. Учитывая известное распространение полиметаллических сульфидов в Районе, весьма вероятно, что для охвата всех известных сульфидных залежей из выделяемого под разведку района необходимо будет использовать отдельные группы прилегающих друг к другу блоков. Использование прилегающих блоков по смыслу проекта правил вряд ли позволит контрактору обеспечить надлежащие возможности для многолетней разработки, и для выяснения подходящей геологии почти однозначно потребуются заявки на получение сразу нескольких 100-блочных лицензий. Учитывая дистанции между залежами в том или ином районе, для обнаружения ресурсов, которых может хватить на несколько лет, вряд ли будет достаточно установить в плане работы по разведке 100 прилегающих друг к другу блоков. Для того чтобы окончательные группы могли охватить достаточно крупную площадь, содержащую такие ресурсы, потребуется разбивка разведочных районов на группы не прилегающих друг к другу блоков. Окончательные 25 блоков, которые будут отобраны для разработки, могут и не относиться к тем 100 блокам, которые были первоначально выделены на основании единой разведочной лицензии. В большинстве случаев применения модели 1 по крайней мере одна залежь оказывалась за пределами первоначального разведочного района, а от еще одной залежи приходилось отказаться, чтобы сохранить непрерывность расположения окончательных 25 блоков. В правилах следует допустить выдачу лицензий на разведочные районы, которые являются достаточно крупными, чтобы содержать разумное количество залежей, или предусмотреть на этапе поиска другие права, допускающие сохранение достаточного количества перспективных участков, где могут иметься эксплуатационные ресурсы. На всем протяжении этапов разведки и разработки следует разрешить подачу заявок на лицензии, охватывающие не прилегающие друг к другу блоки.

Справочная литература

- 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, M. D., 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., Kochinsky, 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.

Таблицы

1. Таблица 1. Высокотемпературные гидротермальные жерла и залежи донных полиметаллических сульфидов (Hannington et al., 2005).
2. Таблица 2. Анализ подходящих районов, нумерация сульфидных залежей и дистанция между залежами по 32 районам ($5 \times 5^\circ$).

Рисунки

1. Рисунок 1. Распространение донных гидротермальных жерл и залежей донных полиметаллических сульфидов (Hannington et al., 2005). Номера соответствуют залежам, перечисленным в таблице 1. Другие, низкотемпературные гидротермальные жерла и железомарганцевые корки или металлоносные осадки отмечены открытыми кругами. Указаны крупные спрединговые хребты и субдукционные зоны (вулканические дуги и тыловодужные области).

2. Рисунок 2. Расположение национальных ИЭЗ (закрашенные районы примерно соответствуют 200-мильной границе). Показано также распространение срединно-океанических хребтов в Районе.

3. Рисунок 3. Расположение 32 районов размером $5 \times 5^\circ$, рассматриваемых в настоящем документе.

4. Рисунок 4. Применение модели 1 на Центральноиндийском хребте (ЦИХ), с указанием 100 прилегающих друг к другу блоков размером по 10×10 км каждый, которые были выделены под разведку и содержат по крайней мере одну известную сульфидную залежь или иной позитивный признак минерализации на площади $10\,000\text{ км}^2$. На первом этапе разведки (через пять лет) производится отказ от 50 процентов разведочного района, в результате чего остается 50 прилегающих друг к другу блоков, которые имеют площадь 10×10 км каждый и содержат три из пяти сульфидных залежей на площади 5000 км^2 . На окончательном этапе разведки остается 25 прилегающих друг к другу блоков, которые имеют площадь 10×10 км каждый и содержат две из известных сульфидных залежей на площади 2500 км^2 . В этой модели две залежи оказались за пределами первоначального разведочного района, а от еще одной пришлось отказаться, чтобы из первоначально отобранных 25 блоков остались только прилегающие друг к другу.

5. Рисунок 5. Применение модели 2 к тем же районам, что и на рисунке 4, с указанием 100 не прилегающих друг к другу блоков, которые имеют площадь 10×10 км каждый, разбиты на четыре группы по 25 прилегающих блоков площадью 2500 км^2 каждая и содержат все известные сульфидные залежи на участке общей площадью $10\,000\text{ км}^2$. Нет гарантий того, что на этапе разведки будут правильно определены наиболее перспективные блоки, однако резонно ожидать, что разведчики смогут применить надлежащие критерии для максимально верного отбора групп блоков, в которых содержатся сульфиды. Площадь первоначального разведочного района, вероятно, должна составлять значительно больше $10\,000\text{ км}^2$, чтобы обеспечить охват всех сульфидных залежей на окончательном этапе разведки.

6. Рисунок 6. Распределение донных гидротермальных жерл по глубине в различной вулканической и тектонической обстановке (данные по Хэннингтону, уточненные по Массоту (Hannington et al., 2005; Massoth et al., 2003)).

Добавление 1

Соответствующие положения проекта правил

Правило 12

Целый район, указанный в заявке

1. Район, указанный в каждой заявке на утверждение плана работы по разведке, состоит из не более чем 100 блоков.
2. В отношении полиметаллических сульфидов или кобальтовых корок район разведки состоит из прилегающих блоков. Для целей настоящего правила прилегающими блоками считаются два блока, соприкасающиеся в какой бы то ни было точке.
3. Независимо от положений пункта 1 выше, когда контрактор выбирает передачу зарезервированного района для осуществления деятельности согласно статье 9 приложения III Конвенции, в соответствии с правилом 17, общая площадь, указанная в заявке, не должна превышать 200 блоков.

Правило 17

Данные и информация, предоставляемые до обозначения зарезервированного района

1. Если заявитель выбирает передачу зарезервированного района, район, указанный в заявке, должен быть достаточно большим и иметь достаточную предполагаемую коммерческую ценность, чтобы в нем можно было вести две добычных операции. Заявитель разделяет блоки, указанные в заявке, на две группы одинаковой предполагаемой коммерческой ценности, состоящие из прилежащих блоков. Выделение района заявителю регулируется положениями правила 27.

Правило 27

Размеры района и отказ от его участков

1. Контрактор производит отказ от выделенных ему блоков в соответствии с пунктами 2, 3 и 4 настоящего правила.
2. К концу пятого года с даты контракта контрактор отказывается:
 - а) не менее чем от 50 процентов выделенного ему числа блоков; или
 - б) если 50 процентов от этого числа блоков составляют нецелое число — от следующего по величине целого числа блоков.
3. К концу десятого года с даты контракта контрактор отказывается:
 - а) не менее чем от 75 процентов выделенного ему числа блоков; или
 - б) если 75 процентов от этого числа блоков составляют нецелое число — от следующего по величине целого числа блоков.
4. В конце пятнадцатого года с даты контракта или когда контрактор подает заявку на права на эксплуатацию, в зависимости от того, что произойдет раньше, контрактор обозначает до 25 блоков из оставшегося у него числа выделенных ему блоков, которые сохраняются за контрактором.

5. Блоки, от которых производится отказ, вновь поступают в Район.
6. По просьбе контрактора и рекомендации Комиссии Совет в исключительных обстоятельствах может продлить сроки отказа. Такие исключительные обстоятельства определяются Советом и включают, в частности, преобладающие экономические условия или иные непредвиденные исключительные обстоятельства, возникающие в связи с оперативной деятельностью контрактора.

Добавление 2

Типовые параметры

1. Ниже в качестве ориентиров для отбора перспективных участков рассматриваются ряд физических характеристик донных полиметаллических сульфидов и геологическая обстановка, в которых они встречаются. Приводится краткий обзор основных параметров, использованных в отношении срединно-океанических хребтов. Тщательный обзор других геологических условий, указанных в таблице 1, выходит за рамки настоящего документа, но он должен иметь место при любом дальнейшем рассмотрении вопроса о глобальной разведке донных полиметаллических сульфидов. За более подробной информацией читателю следуют обратиться к обзорным материалам по данной теме (Hannington et al., 1995, 2005; Herzig and Hannington, 1995, 1999, 2005). Кроме того, дополнительные сведения можно почерпнуть из технического исследования, опубликованного Международным органом по морскому дну (Technical Study No. 2 on Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-rich Ferromanganese Crusts — Status and Prospects).

1. Геологические соображения

2. Массивные полиметаллические сульфиды являются продуктом высокотемпературных (около 350°C) жерл «черных курильщиков», которые встречаются в местах активного в настоящем или недавнем прошлом вулканизма на морском дне, включая глубоководные срединно-океанические хребты, хребты с осадконакоплением, срединно-плитовые подводные горы, дуговые вулканы и тыловодужные рифтовые участки. Гидротермальные осадки состоят из массивных скоплений металлических минералов, включая главным образом пирит, пирротин, халькопирит и сфалерит, которые встречаются на поверхности и под поверхностью морского дна вокруг гидротермальных жерл. Большинство сульфидных скоплений приурочено к действующим гидротермальным источникам, однако около 20 их процентов приходится на уже недействующие источники.

3. Около 65 процентов известных залежей сульфидов расположено на срединно-океанических хребтах; остальные — в тыловодужных впадинах (22 процента), на подводных вулканических дугах (12 процентов) и на межплитовых вулканах (1 процент). Распространенность жерл грубо соотносится с протяженностью хребтов и дуг; срединно-океанические хребты имеют совокупную протяженность 55 000 км, а островные дуги и примыкающие тыловодужные впадины — 22 000 км. Сульфиды встречаются на самых разных субстратах, включая базальт срединно-океанических хребтов, ультрамафические интрузивные породы и сильнее эволюционировавшие лавы, приуроченные к вулканическим дугам, а также внутри осадков, застилающих как океаническую, так и континентальную кору. Районы, допускающие наличие полиметаллических сульфидов, включают участки интенсивного сбросообразования и донных извержений, которые обычно выводимы из региональной батиметрии. «Черные курильщики» чаще всего встречаются на срединно-океанических хребтах с быстрым спредингом, что объясняется наличием высоких тепловых потоков и масштабным донным вулканизмом в этой среде. Однако самые мощные залежи сульфидов не всегда связаны с наиболее высокими темпами спрединга: крупнейшие залежи расположены в центрах среднего и медленного

спрединга, на вулканах, расположенных по оси хребтов, в глубоких тыловодужных впадинах и покрытых осадками рифтах, примыкающих к континентальным окраинам. Отсутствие известных сульфидных залежей в некоторых океанических акваториях (например, в полярных областях и в Южном океане) объясняется главным образом сложностями с проведением морских исследований в этих широтах. Недавние факты обнаружения гидротермальных струй и массивных сульфидов в высоких широтах Арктики и в Антарктике подтверждают, что донная гидротермальная активность в удаленных акваториях океана несколько отличается от наблюдаемой в других местах.

4. В Районе доминирующими вулканическими элементами, на которых встречаются полиметаллические сульфиды, являются срединно-океанические хребты и межплитовые вулканы (например, южная часть ВТП, Срединно-Атлантический хребет (САХ) и ЦИХ: рисунок 1). Типология срединно-океанических хребтов основывается на темпах спрединга и на морфологии, которые различаются в зависимости от региональных тектонических стрессов и темпов привноса магмы. Быстроспрединговые хребты (полная скорость спрединга 6–10 см/год) встречаются на сравнительно тонкой океанической коре, и их характеризуют частые вулканические извержения; хребты со среднескоростным (4–6 см/год) и медленным (1–4 см/год) спредингом — на сравнительно толстой коре, и их характеризует лишь иногда проявляющийся вулканизм, перемежающийся длительными периодами амагматического в основном, тектонического растяжения и/или интрузивной деятельности. На быстроспрединговые хребты приходится примерно 25 процентов от общей протяженности хребтов, тогда как 15 процентов хребтов относится к категории среднескоростного, а 60 — медленного спрединга. Констатируется также наличие центров сверхбыстрого спрединга, например юг ВТП (до 17 см/год), и сверхмедленного, например Арктический хребет и южная часть Восточно-Индийского хребта (менее 1 см/год). На масштабы и активность гидротермальной конвекции на хребтах влияют темпы привноса магмы, глубина подосевой магмы и соотношение магматического растяжения с тектоническим. Существует общая корреляция между скоростью спрединга и встречаемостью гидротермальных излияний; однако, как отмечалось выше, наиболее крупные сульфидные залежи встречаются обычно там, где вулканические извержения происходят лишь эпизодически и перемежаются длительными периодами интенсивной тектонической деятельности.

5. Хребты (и тыловодужные впадины) физически сегментированы в масштабах от десятков до сотен километров различного рода несогласиями, включая трансформные разломы, перекрывающиеся центры спрединга и другие, не-трансформные смещения. Эти элементы влияют на распределение магматического тепла и конвективную гидротермальную циркуляцию, служа естественными границами районам, которые напрашиваются на отбор в качестве объекта разведки на полиметаллические сульфиды. Если говорить о крупных отрезках хребтов, то высокотемпературное излияние происходит обычно вдоль самых мелководных участков в их середине, тогда как окончания отрезков отличаются, как правило, скудостью магмы и тепла.

6. На быстроспрединговых хребтах, например в южной части ВТП, лавы вытесняются на поверхность морского дна быстрее скорости растяжения, так что потоки скапливаются в виде локальных вулканических возвышений, выдающихся над окружающим морским дном на высоту до 100 м. Эруптивные

трещины занимают обычно узкий осевой грабен (примерно 1 км в ширину), и это наиболее частое место встречаемости гидротермальных жерл. Гидротермальные излияния тесно приурочены к местам наиболее недавних вулканических извержений. Однако частые извержения могут нарушать поток гидротермальных флюидов и погребать сульфидные залежи, локализующиеся вдоль эруптивных трещин. В результате гидротермальные комплексы на быстроспрединговых хребтах являются, как правило, мелкими (их мощность составляет менее нескольких тысяч тонн в сухом состоянии), а сульфидные залежи могут быстро смещаться от их источника тепла из-за высоких темпов спрединга.

7. Центры медленного и среднескоростного спрединга, например САХ и ЦИХ, характеризуются более медленными темпами привноса магмы и более высокой структурной подконтрольностью восходящего гидротермального потока, чем быстроспрединговые хребты. Если говорить конкретно о медленноспрединговых хребтах, то для них характерны широкие (до 15 км) и глубокие (до 2 км) осевые долины, окаймляемые сбросами. Извержения происходят здесь либо очень редко, либо через интервалы, составляющие от сотен до тысяч лет. При самых медленных темпах спрединга интервалы между извержениями могут составлять до десятков тысяч лет. Вплоть до 1984 года было принято считать, что гидротермальная активность на медленноспрединговых хребтах будет ограниченной из-за нехватки магматического тепла у поверхности морского дна. После обнаружения гидротермального поля ТАГ на САХ стало очевидно, что на медленноспрединговых хребтах могут встречаться одни из крупнейших гидротермальных систем морского дна. Они могут быть расположены далеко в стороне от оси, где субстрат достаточно стабилен, чтобы поддерживать рост сульфидных холмов многие сотни лет, — в отличие от более молодых гидротермальных полей близ неовулканической зоны, у которой было недостаточно времени для накопления массивных сульфидов. Гидротермальное излияние на медленноспрединговых хребтах обычно сосредоточено вдоль стен рифтовой долины. Из-за того, что на гидротермальные флюиды действует высокая плавучесть, нередко ситуация, когда высокотемпературные излияния происходят на вершущке структурных возвышенностей, на многие километры отстоящих от центра рифта. По этой причине разведка медленноспрединговых хребтов должна охватывать крупные площади, примыкающие к рифту.

8. Участками гидротермальной активности могут быть и внеосевые вулканы. Эти вулканы расположены обычно в 5–10 км от хребтов. Их размеры варьируются от нескольких километров в ширину до крупных построек, диаметр которых составляет до нескольких десятков километров. Известно некоторое количество крупных залежей сульфидов, где вулканы расположены близко к хребту (например, 13° с. ш. ВТП). Однако для большинства внеосевых вулканов характерны лишь низкотемпературные осадки в виде железомарганцевых оксидов. Это может объясняться небольшими размерами соответствующих магматических тел или нехваткой глубоко проникающих разломов, приуроченных к внеосевому вулканизму.

9. Большинство гидротермальных жерл на срединно-океанических хребтах встречается на глубинах от 2000 до 3000 м, однако значительное их количество встречается и на глубине вплоть до 4000 м (рисунок 6 и таблица 1). Наиболее глубокие жерла встречаются в центрах медленного или сверхмедленного спрединга, которым недостает корковой плавучести, характерной для больших объемов подосевой магмы. Однако в региональном масштабе большая часть гид-

ротермальных источников сосредоточена в верхних областях вулканических построек (самые мелководные участки спрединговых центров срединно-океанических хребтов; вершины внеосевых подводных гор). В более локальном масштабе сульфидные залежи могут обнаруживаться в вулканических или тектонических депрессиях, которые наложены на вулканические возвышенности (например, рифтовые грабены на вершине хребтового отрезка; вершинные кальдеры дуговых вулканов). Более глубокие внешние склоны хребтов или вулканов являются менее перспективными кандидатами для гидротермальной активности, и там менее вероятно наличие значительных запасов полиметаллических сульфидов, за исключением тех мест, где могут присутствовать крупные структуры для фокусирования восходящего гидротермального потока.

10. В отличие от мест, где может вестись разработка корок, осадочный чехол не должен считаться фактором, препятствующим разведке полиметаллических сульфидов, если только этот чехол не является столь мощным, что не допускает выхода гидротермальных флюидов на поверхность морского дна. Вместе с тем некоторые участки сильного осадкообразования, например покрытые осадками хребты и рифтовые окраины, можно специально делать объектом поиска на предмет обнаружения скрытых в осадках полиметаллических сульфидов, особенно там, где присутствуют и другие признаки минерализации (например, высокий тепловой поток, свидетельства подповерхностной гидротермальной активности или изменение осадков). Одна из крупнейших залежей полиметаллических сульфидов (в Мидл-Валли на хребте Хуан-де-Фука) представляет собой участок, почти на 100 процентов покрытый осадками, хотя налицо проявления гидротермальной деятельности и есть свидетельства минерализации непосредственно под поверхностью морского дна. В моделях, представленных в настоящем документе, осадочный чехол не рассматривается при отборе подходящей геологической обстановки, однако этот критерий (вместе с наличием или отсутствием гидротермальных признаков) будет, скорее всего, применяться разведчиками при выявлении блоков с ограниченной вулканической активностью, которые будут исключаться из наделов после первоначального этапа разведки.

11. Во многих районах недавней вулканической и тектонической активности можно ожидать наличия труднопреодолимого батиметрического рельефа. Оно может являться позитивным индикатором магматических и гидротермальных процессов, которые способны вести к накоплению полиметаллических сульфидов, однако экстремальный рельеф или слабая стабильность грунта могут помешать их разработке в будущем. Стены рифтовых грабенов или вершинные кальдеры действовавших в недавнем прошлом вулканических построек органически нестабильны и изрезаны, хотя донные части рифтов и кальдер могут включать локально плоские участки, где способны накапливаться полиметаллические сульфиды. Типичный рельеф в центрах быстрого спрединга — перепад высот от десятков до сотен метров на отрезке в 1 км; в центрах медленного спрединга — от сотен метров до 1 км на отрезке в 1 км. В некоторых местах помехой разведке или разработке сульфидов могут служить происходящие ныне вулканические извержения. Некоторые дуговые вулканы недоступны для судов из-за вулканической опасности.

2. Прочие соображения

12. Биологические сообщества, приуроченные к действующим гидротермальным источникам, расположены обычно в местах залегания полиметаллических сульфидов или около них. Правилами может запрещаться любое возмущение таких сообществ, в результате чего крупная доля известных сульфидных залежей может быть исключена из коммерческой разведки уже на раннем этапе. Недействующие сульфидные трубы и холмы обычно не ассоциируются с живыми биологическими сообществами и поэтому являются потенциальными кандидатами на разработку, однако обычно они встречаются неподалеку (в 1–2 км) от действующих жерл и почти всегда приурочены к тем же геологическим структурам. Возмущение недействующих сульфидных скоплений, прилегающих к действующим точкам, скорее всего, будет как-то сказываться на близлежащих действующих системах и приуроченных к ним биологических сообществах.

13. В некоторых местах может присутствовать опасность запутывания в оставленных предметах искусственного происхождения (кабели, драги, рыболовные снасти, научные приборы). Например, на холме ТАГ, который бурился в 17 разных точках на площади менее 250 м, имеются различные покинутые скважины, а также бурильная труба.

3. Размеры разведочных районов

14. Предполагаемое количество и распространенность высокотемпературных гидротермальных жерл на срединно-океанических хребтах будут ограничивать оптимальный размер разведочного района. В целом дистанции между жерлами неизвестны, однако разного рода геофизические измерения дают указание на возможное количество жерл на хребтах. Например, потеря тепла от осевых зон глобальных срединно-океанических хребтов составляет порядка $1,8 + 0,3 \times 10^{12}$ Вт (Mottl, 2003). Около 10 процентов этого тепла выбрасывается при температуре «черного курильщика». Если считать, что тепловой поток от одного жерла «черного курильщика» составляет 2–5 МВт (т.е. при темпах выброса 1–2 кг/с: Converse et al., 1984), то расчетный приток высокотемпературных флюидов на морское дно (10 процентов от $1,8 + 0,3 \times 10^{12}$ Вт) будет эквивалентен примерно 50 000–100 000 «черных курильщиков» (т.е. как минимум один «черный курильщик» на километр хребта). Однако количество известных «черных курильщиков» в сопоставлении с этой цифрой крайне мало, а их распространение далеко не единообразно. Одно крупное гидротермальное поле может насчитывать до 100 жерл «черных курильщиков» с общим выходом тепла от 200 до 500 МВт (например: Becker and Von Herzen, 1996). Таким образом, расчетные высокотемпературные выбросы на срединно-океанических хребтах могут потенциально объясняться наличием одного жерлового поля через каждые 50–100 км. Хотя в этих расчетах не учитываются крупномасштабные вариации теплового потока в зависимости от скорости спрединга и других факторов, они являются полезным ориентиром первого порядка при отборе размера участка под разведку вдоль того или иного отрезка хребтового гребня.

15. Независимые оценки, опирающиеся на фактическую распространенность известных гидротермальных участков, говорят о том, что интервалы между залежами сульфидов вдоль отрезков срединно-океанических хребтов могут быть вполне регулярными в региональном масштабе. Судя по анализу 100 известных

сульфидных залежей из 32 районов размером $5 \times 5^\circ$, рассматриваемых в настоящем исследовании, средняя дистанция между залежами составляет 98 км (таблица 2). Если считать только те залежи, которые относятся к Району ($n = 43$), то средняя дистанция составляет 95 км. Хотя на медленноспрединговых хребтах дистанция (167 км) больше, чем на быстроспрединговых (46 км), отдельно взятые залежи сульфидов на первых в среднем крупнее.

16. Учитывая широкий разброс гидротермальных жерл, выделяемые блоки могут запрашиваться в ряде разных мест в пределах самостоятельных, а возможно, раздельных подходящих районов, требуя обширной оценочной работы. Хотя на протяжении 15-летнего срока, оговоренного в проекте правил, можно будет систематически отказываться от неблагоприятных блоков, более вероятна ситуация, когда разведчики будут быстро выявлять наиболее благоприятные участки и устанавливать минимальное количество неприлегающих друг к другу перспективных блоков. Эта возможность рассматривается в модели неприлегающих блоков.

4. Размеры разведочных объектов

17. Минимальный размер разведочного района определяется размером ожидаемого открытия и теми геологическими элементами, которые контролируют его месторасположение. Крупные группы сульфидных залежей контролируются главным образом такими геологическими элементами, которые легко выясняются по батиметрическим съемкам (рифтовые грабены или кальдеры с максимальными размерами в несколько десятков километров). Контролирующие элементы более локального свойства могут включать разломы, рои даек, лавовые озера или другие эруптивные элементы размером от нескольких сотен метров до нескольких километров. Индивидуальные залежи сульфидов могут состоять из одиноких холмов или групп трубо- и холмообразных построек, охватывающих участки морского дна размером от десятков до сотен метров в диаметре. Они могут быть отделены друг от друга расстояниями от сотен метров до нескольких километров, перемежаясь обычно участками пустых осадков или лавы. На сегменте Эндевор хребта Хуан-де-Фука (рисунок А1) 30 различных сульфидных комплексов распределено между восемью гидротермальными полями вдоль 10-километрового отрезка осевой равнины. Основные гидротермальные поля расположены через равные интервалы: 2–3 км (рисунок А2). На гидротермальном поле ТАГ три основных залежи массивных сульфидов (ТАГ, «МИР», «Элвин») расположены на площади около 25 км^2 (рисунок А3). Опираясь на эти наблюдения, следует считать, что участки морского дна, которые будут вероятнее всего рассматриваться на предмет наиболее детальной разведки (включающей, возможно, батиметрическое картирование с высоким разрешением, донную фотосъемку и другие донные наблюдения и пробоотбор), не будут превышать по площади 100 км^2 .

18. Из более чем 100 участков высокотемпературного гидротермального излияния и залегания полиметаллических сульфидов, рассматриваемых в настоящем документе, лишь около трети имеют скопления полиметаллических сульфидов диаметром порядка от десятков до сотен метров (Hannington et al., 1995; Fouquet, 1997). Большинство из них обследовано не полностью, а сообщаемые размеры включают обычно крупные районы прерывистых сульфидных выходов или пустого субстрата между трубо- и холмообразными постройками. Непрерывность сульфидных тел трудно оценить даже при самой детальной

съемке. Ряд примеров показывает, что предварительные расчеты поверхностной площади таких залежей нельзя использовать для надежного определения того, какова мощность сульфидов на или около поверхности морского дна. Такие сведения можно получить только бурением, хотя будущие сдвиги в геодезических методах могут дать дополнительные инструменты для выполнения этой задачи.

19. Когда на хребте Эксплорер в северо-восточной части Тихого океана (рисунок А1) были впервые обнаружены полиметаллические сульфиды, на основе наблюдений, выполненных погружаемыми аппаратами, было подсчитано, что размер крупнейшего сульфидного холма составляет 250×200 м. Недавние съемки с высоким разрешением показали, что этот район сложен главным образом лавой, которую покрывают прерывистые осадки с вкраплением железа, и что в нем находится всего четыре группы трубообразных построек диаметром 50 м, покрывающие только 25 процентов площади, которая первоначально считалась залежами массивных сульфидов (<http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations>). При аналогичной съемке залежи «Санрайз» (на подводном вулкане Мёдзин-Кнолль, Идзу-Бонинская дуга) появилось сообщение о наличии района сульфидной минерализации размером 400×400 м (рисунок А4). Исходя из высоты 30 м и объемной плотности $1,9 \text{ г/см}^3$, была подсчитана общая мощность массивных сульфидов: 9 млн. т (Iizasa et al., 1999). При этом использовались три важные посылки: i) сульфидный выход был сочтен покрывающим 100 процентов оконтуренного района (т.е. включая участки между сульфидными хребтами и холмами, которые скрыты осадками); ii) наблюдаемый рельеф обусловлен исключительно накоплением массивных сульфидов на плоской поверхности морского дна, а не разломами или погребенными вулканическими элементами (например, лавовыми куполами); iii) объемная плотность является единообразной и характеризует все количество сульфидов, которое вошло в расчеты. Рисунок А4 показывает, что оконтуренный район размером 400×400 м охвачен съемкой лишь на 5 линейных километров, а это дает визуальное представление не более чем о 30 процентах площади (например, съемки, базирующиеся на наблюдениях с помощью погружаемых аппаратов или буксируемых камер, характеризуются максимальным полем обзора не более чем 10 м в сторону от маршрута съемки). Показано, что визуально идентифицируемые сульфидные выходы, например действующие или недействующие сульфидные трубы, покрывают лишь 25 процентов площади. Учитывая ограничения, свойственные визуальным съемкам, и факторы неопределенности, свойственные расчетам, ценность таких расчетов объемной мощности сомнительна.

20. Бурение позволяет с необходимой уверенностью экстраполировать наблюдения на поверхности в глубину и выносить суждение о непрерывности сульфидных выходов. Важность бурения иллюстрируют два примера сульфидных залежей, приуроченных к осадкам. В Мидл-Валли на хребте Хуан-де-Фука и в трое Эсканаба на хребте Горда морское дно испещрено многочисленными приподнятыми блоками осадков, насчитывающими до нескольких сотен метров в диаметре и 50 метров в высоту. Бурение и другие детальные съемки показали, что большинство этих холмов представляет собой главным образом погребенные вулканические интрузии. Однако бурение одного холма в Мидл-Валли (Бент-Хилл, размеры которого у основания составляют 90×60 м) обнаружило 95 м массивных сульфидов под поверхностью морского дна и еще один, более

мелкий покрытый осадками холм на расстоянии 300 м (холм «программа океанического бурения» (ПОБ)), который тоже показал наличие главным образом массивных сульфидов (Davis et al., 1992). Бурение же аналогичных холмовидных элементов в трогее Эсканаба (270×100 м) показало, что массивный сульфид ограничен небольшим районом: всего лишь 5–15 м в глубину (Zierenberg and Miller, 2000).

21. Надежные расчеты размеров сульфидных скоплений оказались возможными только в тех немногих случаях, когда имеется информация, полученная бурением. На холме ТАГ (200×45 м) на САХ 17 пробуренных скважин, максимальная глубина которых составляла 125 м, показали объемную мощность в 2,7 млн. т массивных сульфидов со средним содержанием меди 2 весовых процента и 1,2 млн. т штокверковой минерализации с содержанием меди 1 весовой процент (Hannington et al., 1998). На участках Бент-Хилл и ПОБ в Мидл-Валли четыре глубокие скважины показали объемную мощность от 10 до 15 млн. т (Fouquet et al., 1998; Zierenberg et al., 1998). Следующие по размеру залежи на срединно-океанических хребтах, если исходить из очевидных поверхностных участков, могут составлять порядка 100 000–1 млн. т, однако информации, полученной бурением, не имеется. Вместе с тем значительное большинство известных сульфидных залежей имеет гораздо меньшие размеры. Индивидуальные сульфидные структуры и холмы редко превышают в диаметре несколько десятков метров, с объемной мощностью не более нескольких тысяч тонн каждая. На хребте Эндевор 30 сульфидных построек на 10-километровом отрезке имеют совокупную мощность не более 50 000 т. Сульфидные залежи на тыловодужных рифтах и на вулканических дугах западной части Тихого океана по большей части сходны по размерам с залежами на срединно-океанических хребтах.

22. На точность расчета объемной мощности влияет, кроме того, существенная неопределенность по поводу физических свойств сульфидных холмов и труб. Хэннингтон и др. (Hannington et al., (1998) исходили при расчете мощности холма ТАГ из объемной мощности 3,5–4 т, опираясь при этом на измерения плотности керна, выполненные на борту исследовательского судна. Однако объемная сухая плотность сульфидных труб, корок и осадков из других залежей гораздо ниже. Для сульфидных куполов ВТП характерна сухая плотность всего лишь $1\text{--}2 \text{ г/см}^3$, причем содержание воды в натуральных условиях составляет 25–50 процентов (Crawford et al.). Внутри холмов можно ожидать более высоких плотностей из-за сжатия, заполнения открытых мест и гидротермальной рекристаллизации сульфидов, однако очевидно, что эти явления не являются единообразными.

5. Сопоставление с добычными работами на суше

23. Хотя существует значительная неопределенность при расчете размеров сульфидных скоплений на морском дне, можно ожидать, что диапазон их значений будет сходным с диапазоном значений разных типов месторождений ископаемых сульфидов, которые разрабатываются на суше. Имеется две потенциально подходящих модели. Месторождения массивных сульфидов так называемого «кипрского» типа издавна считаются наиболее древними аналогами полиметаллических сульфидов, которые встречаются на срединно-океанических хребтах и в зрелых обстановках тыловодужных впадин (см., например: Hannington et al., 1998), — и приводимые там ссылки). Японские ме-

сторождения-«куроко» являются аналогами полиметаллических сульфидов, которые встречаются в обстановке вулканических дуг. Использование реликтовых аналогов для целей прогнозирования предполагает, что условия рудообразования были единообразными на протяжении геологического времени, поскольку сведения об ископаемом ресурсе включают месторождения всех возрастов. Тем не менее маловероятно, чтобы на сегодняшнем морском дне было обнаружено нечто радикально отличающееся от того, что известно об этих месторождениях на суше. Поэтому модели, позволяющие рассчитать сортность и мощность современных мест залегания именно донных полиметаллических сульфидов, вероятно, не требуются.

24. Данные по месторождениям кипрского типа дают медианное значение в 1,6 млн. т (рисунок A5). Эти данные относятся в большей степени к более крупным месторождениям, поскольку сведения о мощности и сортности известны или сообщены только по тем месторождениям, которые имеют достаточный размер, чтобы позволять рентабельную разработку. Огромное большинство сульфидных залежей либо слишком мало, либо имеет слишком низкую сортность, чтобы вести их разработку, а сведения о большом количестве мелких месторождений не включены в опубликованные данные о запасах. Если говорить о месторождениях кипрского типа, то это будет относиться к более чем 90 неосвоенным перспективным участкам мощностью менее 100 000 т каждый, а возможно, и к еще большему количеству гораздо более мелких залежей, которые никогда не рассматривались в качестве перспективных (Hannington et al., 1998, — и приводимые там ссылки). Ситуация аналогична для многих мелких изолированных труб и холмов, которые встречаются на активных отрезках срединно-океанических хребтов. Когда включаются и неосвоенные перспективные участки, то кривая уходит заметно вниз, в сторону более низких значений мощности (рисунок A5). В случае месторождений кипрского типа ожидается, что медианное значение, с учетом нерентабельных залежей, составит менее 500 000 т.

25. При разработке японских месторождений-«куроко» велся тщательный учет физических размеров осваиваемых рудных тел. Из 44 разрабатывавшихся месторождений во впадине Хокуроку средний поверхностный размер рудных тел составлял примерно 200×200 м (Tanimura et al., 1983). Группы рудных тел занимали обычно менее 100 км^2 и объединяли до десяти рудных тел. Сэнгстер (Sangster), 1980 показал аналогичное распределение рудных тел в областях добычи массивных сульфидов в Канаде, где на площадь в 84 км^2 приходится в среднем 12 месторождений. В этих районах на самое крупное отдельно взятое месторождение приходится обычно 60–70 процентов от общих запасов металла; второе по величине месторождение может составлять только 10–20 процентов. Следующий по величине район с еще одним крупным месторождением может быть расположен от него на расстоянии, составляющем от десятков до сотен километров. Хотя эти сопоставления потенциально полезны для определения целевых значений размеров залежей донных полиметаллических сульфидов на предмет их разведки, важно помнить, что районы, представленные в древних добычных областях, обычно включают месторождения, проявляющиеся на ряде различных стратиграфических уровней (т.е. на подвергшихся эрозии поверхностях на суше может быть видно гораздо больше месторождений, чем на плоской поверхности морского дна).

26. Размерное распределение сульфидных залежей в большинстве районов морского дна позволяет говорить о том, что темпы разработки, сопоставимые с темпами, которые применяются на добычных участках на суше, приведут к истощению ресурса на площади 2500 км² за год. За исключением весьма редких случаев, в некоторых районах может возникнуть необходимость в дополнительных ресурсах для поддержания многолетней эксплуатации.

6. Сопоставление с коммерческой разведкой морского дна в исключительных экономических зонах

27. Двум корпорациям («Нотилус минералз» на востоке впадины Манус (Папуа — Новая Гвинея) и «Нептьюн минералз» в Тонгано-Кермадекской дуговой области (Новая Зеландия)) выданы лицензии на коммерческую разведку, которые позволяют сделать внятный вывод о факторах, ограничивающих использование различных моделей для разведки и выбора выделяемых блоков. Первоначальные поисковые лицензии фирмы «Нептьюн минералз» в Новой Зеландии охватывали в 1999 году площадь размером 33 000 км², а в 2003 году эта площадь сократилась до надела размером 7790 км² (24 процента). Разведочные лицензии фирмы «Нотилус минералз» в Папуа — Новой Гвинее охватывали в 1996 году общую площадь в 15 000 км². Два наиболее перспективных участка, разведываемые сейчас на востоке впадины Манус, занимают площадь 2500 км² (17 процентов). На наделах обеих названных фирм известные залежи сульфидов не могли бы быть охваченными единой разведочной лицензией на 100 прилегающих друг к другу блоков (рисунок А6).

Добавление 2

Рисунки

1. Рисунок А1. Пример района размером $5 \times 5^\circ$ в северо-восточной части Тихого океана (с 1000-метровым интервалом между изолиниями), наклады- вающегося на хребет Хуан-де-Фука, и известные залежи полиметаллических сульфидов в южной части хребта Эксплорер, в Мидл-Валли и на хребте Энде- вор.
2. Рисунок А2. Карта $30 \times 30'$ хребта Эндевор (со 100-метровым интервалом между изолиниями), показывающая расположение самостоятельных сульфид- ных залежей, расположенных на 2–3 км друг от друга.
3. Рисунок А3. Распространение сульфидных залежей на гидротермальном поле ТАГ на САХ (Humphris et al., 1995). Три основных залежи массивных сульфидов (ТАГ, «Мир», «Элвин») расположены в пределах района площадью 25 км^2 .
4. Рисунок А4. Карта, показывающая результаты выполненной погружаемы- ми аппаратами съемки залежи «Санрайз» на подводном вулкане Мёдзин- Кнолл на Идзу-Бонинской дуге (Iizasa et al., 1999). Показанный район суль- фидной минерализации составляет $400 \times 400 \text{ м}$. Исходя из высоты 30 м и объ- емной плотности $1,9 \text{ г/см}^3$, было подсчитано, что общая мощность скопления массивных сульфидов составляет 9 млн. т. Однако при выполнении съемок с помощью погружаемых аппаратов или буксируемых камер максимальное поле обзора составляет обычно не более 10 м в сторону от маршрута съемки. На приводимой карте оконтуренный район размером $400 \times 400 \text{ м}$ охвачен съемкой не более чем на 5 линейных километров, давая визуальное представление не более чем о 30 процентах площади. Показано, что визуально идентифицируе- мые сульфидные выходы (т.е. действующие и недействующие сульфидные тру- бы) покрывают лишь 25 процентов площади. Учитывая ограничения, свойст- венные визуальным съемкам, нехватку информации, полученной с помощью бурения, и тот факт, что на плоской поверхности морского дна сульфиды не от- кладываются, расчетная мощность является неопределенной.
5. Рисунок А5. Модель мощности для 49 месторождений массивных сульфи- дов «кипрского» типа, показывающая разброс размерных значений месторож- дений. Медианная мощность (50-я перцентиль) указывается на уровне 1,6 млн. т. Взятые в расчет данные приведены по Сингеру и Мозиеру (Singer and Mosier, 1986) и показывают только месторождения, размер которых доста- точен для рентабельной разработки или по которым есть сведения о запасах. Огромное большинство сульфидных залежей имеет либо слишком малый раз- мер, либо слишком низкую сортность, чтобы их разрабатывать, а сведения о большом количестве мелких месторождений не включены в опубликованные данные о запасах. Это относится к более чем 90 неосвоенным перспективным участкам мощностью менее 100 000 т каждый (Hannington et al., 1998, — и приведенные там ссылки), а возможно, и к еще большему количеству гораздо более мелких залежей, которые никогда не рассматривались в качестве пер- спективных. Когда включаются и неосвоенные перспективные участки, то кри- вая уходит заметно вниз, в сторону более низких значений мощности, как это указывается на рисунке. В случае месторождений «кипрского» типа ожидается,

что медианное значение, с учетом неосвоенных перспективных участков, составит менее 500 000 т.

6. Рисунок А6. Примеры лицензий на коммерческую разведку в Папуа — Новой Гвинее и Новой Зеландии. Первоначальные поисковые лицензии фирмы «Нептьюн минералз» в Новой Зеландии (А) охватывали в 1999 году площадь размером 33 000 км², а в 2003 году эта площадь сократилась до надела размером 7790 км² (24 процента) (www.neptuneminerals.com). Лицензии фирмы «Нотилус минералз» в Папуа — Новой Гвинее (В) охватывали в 1996 году общую площадь в 15 000 км², а к настоящему времени выявлен район площадью 2500 км² (17 процентов), который содержит два наиболее перспективных участка в восточной части впадины Манус (www.nautilusminerals.com). В этих примерах разведочные лицензии из расчета 100 прилегающих блоков не позволили бы включить все известные сульфидные залежи в единый надел (см. также добавление 3).

Добавление 3

Карты 32 районов, допускающих наличие полиметаллических сульфидов

1. По 32 картографическим участкам размером $5 \times 5^\circ$ были отобраны районы, которые считаются допускающими наличие полиметаллических сульфидов. Поисковый район был условно определен как составляющий $5 \times 5^\circ$ и содержащий по крайней мере одну известную сульфидную залежь или иной позитивный признак минерализации. На каждую карту в тех районах, которые считаются допускающими наличие полиметаллических сульфидов и где могла бы осуществляться разведка, была наложена 0,1-градусная сетка. Эта сетка примерно соответствует блокам размером по 10×10 км каждый ($0,1 \times 60$ мор. миль $\times 1,852$ км = 11,11-километровый интервал сетки). Дробные величины используются для простоты отображения мест залегания сульфидов. В каждом случае наложение сетки преследует цель охватить все подходящие районы с учетом примерных геологических свойств каждого картографического участка, описанного в настоящем документе. В представленных здесь моделях размер подходящих районов соответствует примерно 20-кратному размеру блоков, выделяемых по окончании 15-летнего цикла разведки (20×25 блоков).

Добавление 4

Карты 12 типовых разведочных районов

1. Для 12 предметных исследований по Району были измерены типовые разведочные районы с использованием карт $5 \times 5^\circ$ с 1000-метровым интервалом между изолиниями. Представлены модели, которые иллюстрируют, как эти районы можно сократить до минимального количества выделяемых под разведку блоков в соответствии с графиком отказа от участков, предложенным в проекте правил (50 процентов от выделенного района после 5 лет, 75 процентов после 10 лет и максимум 25 блоков после 15 лет).

Добавление 5

Детальные карты отобранных районов со 100-метровым интервалом между изолиниями

1. Серия карт $30 \times 30'$ (изолинии через 100-метровый интервал) иллюстрируют отбор подходящих районов в случаях, когда может иметься более подробная батиметрическая информация. Указанные здесь данные взяты из реестра многолучевой батиметрии, ведущегося Национальным центром геофизических данных Соединенных Штатов Америки (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/multibeam.html>). Эти карты можно использовать в интересах существенного сокращения первоначального размера подходящего района, однако данные имеются не по всем океаническим акваториям.
