



Восьмая сессия
Кингстон, Ямайка
5–16 августа 2002 года

Краткие презентации по залежам полиметаллических массивных сульфидов и кобальтоносным железомарганцевым коркам

I. Морские полезные ископаемые и Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву¹

1. В 70-х — начале 80-х годов, когда происходила разработка Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, в понимании того, как функционирует наша планета, произошла научная революция, которая существенно расширила знания о морских полезных ископаемых. Научная революция повлекла за собой крупные изменения во взглядах на океанские бассейны и континенты. До научной революции океанские бассейны рассматривались как пассивные резервуары для самих океанов. Континенты и океанские бассейны рассматривались как застывшие элементы, оставшиеся большую часть истории Земли на своем нынешнем месте. Положения Конвенции, касающиеся морских полезных ископаемых, были составлены исходя из этой старой концепции, признававшей лишь месторождения тех морских полезных ископаемых, которые образовались в результате эрозии и были принесены в океан реками в форме частиц или в растворенном виде. К числу этих полезных ископаемых относились тяжелые металлы (олово, золото и т.д.) и драгоценные камни (особенно алмазы), встречающиеся в осадках на континентальных

окраинах, а также марганцевые конкреции, осевшие на глубоководное ложе океана из металлов, растворенных в морской воде.

2. Научная революция обнаружила, что океанские бассейны — это динамичные образования, которые на протяжении миллионов лет то открывались, то закрывались, сопровождаясь движением массивов суши, получившим название континентального дрейфа. В результате научной революции было признано, что в океанских бассейнах встречаются месторождения не только уже известных полезных ископаемых, но и других. К числу новооткрытых типов морских полезных ископаемых относятся полиметаллические сульфиды, содержащие различные количества меди, цинка, серебра и золота. Залежи полиметаллических сульфидов формировались на протяжении тысяч лет, концентрируясь у термальных источников на участках морского дна, расположенных вдоль подводного горного хребта с действующими вулканами, который протянулся через все океанские бассейны земного шара. Залежи полиметаллических сульфидов встречаются также на участках, ассоциированных с цепочками вулканических островов, располагающихся, например, вдоль западной оконечности Тихого океана. Еще один новооткрытый тип морских полезных ископаемых — кобальтоносные железомарганцевые корки, которые на протяжении миллионов лет оса-

ждались на подводных склонах бездействующих подводных вулканов из металлов, попавших в морскую воду из рек и термальных источников на морском дне.

3. Термальные источники не только являются местом, вокруг которого концентрируются залежи полиметаллических сульфидов и из которого металлы рассеиваются по океанам, способствуя аккумуляции кобальтоносных железомарганцевых корок, но и доставляют из недр Земли химическую энергию, которая нужна для роста микробам. Микробы формируют основание трофической цепочки приуроченной к термальным источникам экосистемы живых организмов, которая во многом не зависит от световой энергии, питающей фотосинтез в растениях, формирующих основание трофической цепочки на суше. Микробы доказывают свою важность как источник новых соединений, используемых в промышленности и медицине, и среди них встречаются примитивные формы, в которых может таиться ключ к происхождению жизни. Сейчас задача состоит в том, чтобы охватить эти новые ресурсы полезных ископаемых режимом Конвенции, с тем чтобы защитить ценные формы жизни, обитающие на их месторождениях.

II. Залежи полиметаллических массивных сульфидов на современном морском дне и их ресурсный потенциал²

4. С 1979 года залежи полиметаллических массивных сульфидов обнаружены на глубине до 3700 м в самых различных тектонических обстановках на современном морском дне, включая срединно-океанические хребты, задуговые рифты и подводные горы. Многие сульфидные залежи состоят из комплекса «черного курильщика» поверх сульфидного холма, в основании которого обычно залегают зона штокверка. Согласно общепринятому мнению, основным носителем металлов и серы, которые выделяются из океанического фундамента, выступает циркулирующая морская вода, которая модифицируется в зоне реакции вблизи субосевой магматической камеры. Выпадение массивных и штокверковых сульфидов на морском дне и под ним происходит в результате смешивания высокотемпературных (до 400°C) металлоносных гидротермаль-

ных флюидов, образовавшихся на основе морской воды, с собственно морской водой. Полиметаллические сульфидные залежи на морском дне могут достигать значительных размеров (до 100 млн. т) и зачастую характеризуются высокими концентрациями меди (халькопирит), цинка (шпалерит) и свинца (галенит) в дополнение к золоту и серебру. Документально подтверждено, что минералогический и химический состав полиметаллических массивных сульфидов на базальтовых срединно-океанических хребтах отличается от состава сульфидов в задуговых спрединговых центрах, которые ассоциированы с более фельзической вулканической породой (дацит, риолит).

5. Последние более сходны с крупными сульфидными залежами, которые разрабатываются сегодня на суше, однако в период своего формирования находились в палеоокеанических спрединговых центрах. Крайне высокие концентрации золота (до 230 г/т при среднем показателе 26 г/т по 40 проанализированным пробам) были недавно обнаружены в новом типе донного месторождения полезных ископаемых, расположенном в кратере потухшего вулкана в территориальных водах Папуа-Новой Гвинеи. Конкретный тип минерализации и альтерации во многом сходен с так называемыми «эпитермальными золотоносными залежами», обнаруженными пока только на континентах. В дополнение к циркулирующей морской воде существенным источником металлов представляются магматические флюиды с высокой концентрацией золота, которые, вероятно, являются причиной интенсивного обогащения ценными металлами. Этот тип минерализации чаще всего существует в других связанных с дугами ситуациях в Мировом океане. Ввиду высокой концентрации обычных и ценных металлов залежи полиметаллических сульфидов на морском дне в последнее время привлекают интерес международной горнорудной промышленности. Освоение некоторых из этих залежей представляется как экономически, так и экологически возможным ввиду некоторых преимуществ над залежами на суше и, по всей вероятности, станет реальностью в пределах нынешнего десятилетия.

III. Кобальтоносные железомарганцевые корки: геология, ресурсы и технология³

6. Кобальтоносные железомарганцевые корки встречаются в самых различных районах Мирового океана на подводных горах, хребтах и плато, где течения смывали осадки с породы в течение миллионов лет. Корки образуются в результате отложений из холодной морской воды на субстрат породы, формируя напластования толщиной до 250 мм. Корки представляют собой важный потенциальный ресурс прежде всего кобальта, но также и титана, церия, никеля, платины, марганца, таллия, теллура, вольфрама, висмута, циркония и других металлов. Корки образуются на глубине примерно 400–4000 м от поверхности воды, причем наиболее толстые и богатые кобальтом корки встречаются на глубине примерно 800–2500 м. Распространение и толщина корок зависят от гравитационных процессов, как-то оползней, а также от осадочного покрова, опустившихся и поднимающихся рифов и течений.

7. Корки встречаются на самых различных субстратных породах, что осложняет отграничение корок от субстрата с использованием данных дистанционного зондирования, а это является важным аспектом в плане разработки разведочных технологий. К счастью, корки можно отличить от субстратов по присутствующему им гораздо более высокому уровню гамма-излучения. Физические свойства корок, как-то их высокая средняя пористость (60 процентов) и крайне высокая средняя площадь поверхности (300 м²/г), а также их невероятно медленные темпы роста (1–6 мм за 1 млн. лет) способствуют поглощению больших количеств экономически значимых металлов из морской воды и отложению их в виде корковых напластований.

8. Корки состоят из вернадита (оксид марганца) и ферроксигита (оксид железа) с умеренными примесями фторопатита карбоната в толстых корках и мелкими примесями кварца и полевого шпата в большинстве корок. Элементами, обычно абсорбируемыми в вернадит, являются кобальт, никель, цинк и таллий, а в оксид железа — медь, свинец, титан, молибден, мышьяк, ванадий, вольфрам, цирконий, висмут и теллур.

9. В необработанных корках максимальная концентрация кобальта достигает 1,7 процента, нике-

ля — 1,1 процента, а платины — 1,3 частей на миллион. Благодаря среднему содержанию кобальта до 0,5–1 процента в обширных районах океана корки являются потенциально самой богатой кобальтоносной рудой из всех существующих видов как на суше, так и в море. В корках на континентальной окраине и в непосредственной близости к вулканическим дугам западной части Тихого океана снижаются концентрации кобальта, никеля, титана и платины, зато возрастают концентрации кремния и алюминия. С увеличением глубины залегания корок снижаются концентрации вернадитовых элементов, но возрастают концентрации железа и меди. По сравнению с другими металлами в корках высоки концентрации кобальта, церия, таллия, титана, свинца, теллура и платины, поскольку они инкорпорируются реакциями окисления, в результате которых образуются более стабильные, менее мобильные соединения. Общая концентрация редкоземельных элементов обычно варьируется между 0,1 процента и 0,3 процента, и эти элементы поглощаются из морской воды вместе с другими гидrogenетическими элементами: кобальтом, марганцем, никелем и т.д. Сильно обогащены корки таким редкоземельным элементом, как церий, что обуславливает их важный экономический потенциал.

10. Морские горы и хребты, на которых образуются корки, препятствуют потокам океанической водной массы, создавая тем самым множество горных течений с (как правило) более высокой энергетикой по сравнению с оттоком воды от морских гор. Воздействие этих течений наиболее сильно на внешней окраине районов, прилегающих к вершинам морских гор, где обнаружены наиболее толстые напластования корок. Эти привязанные исключительно к морским горам течения способствуют также активизации турбулентного смешивания и приводят к апвеллингу, который обуславливает рост первичной продуктивности. Эти физические процессы оказывают воздействие на биологические сообщества морских гор, которые на разных морских горах бывают неодинаковыми. Сообщества морских гор характеризуются относительно низкой плотностью и не отличаются разнообразием в районах, где корки достигают наибольшей толщины и наиболее высока концентрация кобальта. Видовой состав сообществ морских гор определяется характеристиками течений, рельефом, донными осадками, типом и распространенностью пород, размером морских гор, глубиной воды и размером и масштабами зоны ми-

нимальной концентрации кислорода. Для подготовки экологической экспертизы потребуются гораздо более глубокое по сравнению с нынешним понимание экосистем и сообществ морских гор.

11. Изучению кобальтоносных корок было посвящено около 40 исследовательских экспедиций, организовывавшихся главным образом Германией, Японией, Соединенными Штатами Америки, Республикой Корея, Российской Федерацией, Китаем и Францией. В это примерное число 40 экспедиций не входят некоторые экспедиции, которые были проведены Советским Союзом (а впоследствии Российской Федерацией) и Китаем и к результатам которых у автора не было доступа. Однако на основе анализа примерно 42 исследовательских экспедиций за период с 1981 по 2001 год можно предположить, что минимальные расходы составляют около 32 млн. долл. США на эксплуатацию судна и связанную с этим научную работу на месте и 42 млн. долл. США на исследования на берегу, т.е. общий объем инвестиций составляет примерно 74 млн. долл. США.

12. Научные исследования и разработки применительно к технологии добычи корок находятся на самом начальном этапе. Подробные карты корковых залежей и всестороннее понимание мелкомасштабного рельефа морских гор отсутствуют, но для разработки наиболее приемлемых добычных стратегий они необходимы. Типичные разведочные операции на месте предусматривают составление батиметрических карт «СиБим», на основе которых составляются карты обратного рассеяния и уклона, вместе с сейсмическими профилями, совместный анализ которых позволяет выбрать участки пробоотбора. В рамках рекогносцировочных работ на каждой морской горе совершается 15–20 проходов с драгами и грунтовыми трубками. Затем с помощью видеосъемки разграничиваются корки, порода и типы и размещения отложений, а также определяется толщина корок, если возможно. Для этой разведочной деятельности необходимо большое хорошо оснащенное исследовательское судно, ибо оно должно устанавливать множество донных акустических маяков, буксировать тяжелое оборудование и позволять обрабатывать многочисленные пробы. На последних этапах разведки и при обследовании конкретных участков предусматривается использование глубоководного буксируемого гидролокатора бокового обзора с батиметрическим эхолотом и

привязных морских роботов с дистанционным управлением для картирования и разграничения мелких особенностей рельефа. Широкомасштабный отбор проб залежей можно производить драгированием, грунтовыми трубками, дистанционно управляемыми морскими роботами или с использованием еще не разработанных устройств для взятия проб с высокой частотой. Съемка в гамма-диапазоне позволит разграничить толщину корок и определить их наличие под тонким слоем осадков. Для анализа окружающей среды подводных гор потребуются устанавливаемые на буйх датчики течений; необходимо будет произвести биологический пробоотбор и съемку.

13. Применительно к разведке и разработке корок установлено 12 критериев.

a) Региональные критерии

- i) крупное вулканическое сооружение на глубине менее 1000–1500 м;
- ii) вулканические сооружения древнее 20 млн. лет;
- iii) вулканические структуры, не покрытые крупными атоллами или рифами;
- iv) районы сильных и устойчивых донных течений;
- v) ярко выраженная зона минимальной концентрации кислорода на малой глубине;
- vi) районы, изолированные от широкомащтабных речных и эоловых наносов.

b) Критерии для конкретных участков

- vii) спокойный мелкомасштабный рельеф;
- viii) наличие террас, седловин и проходов близ вершины;
- ix) стабильность склона;
- x) отсутствие местной вулканической активности;
- xi) средняя концентрация кобальта не менее 0,8 процента;
- xii) средняя толщина корок не менее 40 мм.

14. Добыча корок технологически более сложна, чем добыча марганцевых конкреций. Вести сбор

конкреций относительно легко, поскольку они залегают на мягком осадочном субстрате, тогда как корки более или менее прочно прикреплены к субстратной породе. Для обеспечения успеха разработки корок чрезвычайно важно производить их добычу, не затрагивая субстратную породу, привнесение которой существенно снизит сортность руды. Различаются пять возможных операций по добыче корок: фрагментация, измельчение, сбор, подъем на поверхность и обогащение. Предлагаемый метод добычи корок состоит в использовании донного аппарата, соединенного с добычным судном на поверхности гидравлической системой подъема по трубопроводу и электромагистралью. Добычный аппарат является самоходным и передвигается со скоростью около 20 см/с. Материальная производительность базового сценария добычи составляет 1 млн. т в год. В качестве разумных добычных параметров этот сценарий допускает эффективность фрагментации на уровне 80 процентов и 25-процентное растворение корковой руды субстратом. Для освоения корок были предложены некоторые новые системы, в том числе отслоение корок от субстрата высоконапорными водными струями, методы выщелачивания на месте и отделение корок от субстратов с помощью акустического воздействия. Эти предложения многообещающи и нуждаются в дальнейшей проработке.

15. Важность металлов, содержащихся в корках, для мировой экономики находит отражение в структуре их потребления. Первейшими направлениями использования марганца, кобальта и никеля являются производство стали, которой они придают уникальные характеристики. Кобальт используется также в электротехнике, связи, аэрокосмической промышленности, производстве двигателей и инструментов. Никель используется также в химической промышленности, очистке нефти, производстве электроприборов и автомобилестроении. Кобальт производится в качестве побочного продукта добычи меди, и следовательно предложение кобальта увязано со спросом на медь. Аналогично и положение с теллуром, который является продуктом, сопутствующим добыче меди и золота. Такая неопределенность предложения побуждает промышленные круги искать альтернативы кобальту и теллуру, в результате чего рост их рынков в течение последнего десятилетия был лишь умеренным, а цены, вследствие этого, — относительно низкими. При возникновении существенных альтернативных ис-

точников этих металлов появится более значительный стимул к возобновлению их использования в производстве и расширению рынков.

16. Недавно было установлено, что в корках содержатся не только такие металлы, как марганец, кобальт, никель, медь и платина, что может послужить дополнительным стимулом к их добыче. Например, титан является наиболее ценным металлом после кобальта, церий ценится выше никеля, цирконий эквивалентен никелю, а теллур почти в два раза ценнее меди. Этот анализ подразумевает, что удастся разработать экономичные пути извлечения каждого из этих металлов.

17. С учетом сортности, тоннажа и океанографических условий центрально-экваториальный район Тихого океана обеспечивает наибольший потенциал добычи корок, особенно исключительная экономическая зона атолла Джонстон (Соединенные Штаты), Маршалловых Островов и международные воды Срединно-Тихоокеанских гор, хотя исключительные экономические зоны Французской Полинезии, Кирибати и Федеративных Штатов Микронезии также заслуживают рассмотрения.

18. Предложение многих металлов, содержащихся в корках, имеет важнейшее значение для дальнейшего эффективного функционирования современных промышленных обществ и для повышения уровня жизни в XXI веке. Значение кобальтовых корок как важного потенциального ресурса получает все более широкое признание. Соответственно, необходимо ликвидировать информационный пробел, касающийся различных аспектов освоения корок, с помощью проведения исследований, разведки и технологических разработок.

IV. Эксплуатация сульфидных минеральных ресурсов и фауна гидротермальных жерл⁴

19. С момента открытия глубоководных гидротермальных жерл в 1977 году было описано более 500 новых видов животных. Глубоководные жерла имеют высокую научную ценность, ибо около них обитает большое число эндемических и необычных видов, и они являются прибежищем для организмов, являющихся близкими родственниками древнейших форм жизни. Жерловые экосистемы, будучи живописной, экстремальной средой обитания, при-

влекли внимание широкой общественности и таким образом представляют собой ресурс, который может быть использован для ознакомления общественности с происходящими на земле процессами и методами работы ученых. В настоящее время невозможно предсказать, насколько быстро жерловые участки смогут восстановиться после добычных операций. Некоторые организмы погибнут непосредственно в результате работы добычных аппаратов, тогда как другие обитающие вблизи представители животного мира могут быть уничтожены в результате осаждения шлейфов материальных частиц. Организмы, которые выживут в условиях этих колебаний, столкнутся с необходимостью приспособления к радикально новым условиям обитания, и добычные участки будут иметь меньшую научную и образовательную ценность. Давно возникшие жерловые поля, на которых располагаются крупнейшие залежи полезных ископаемых, по всей вероятности, будут характеризоваться наибольшей экологической стабильностью и наиболее широким биологическим разнообразием. Сосредоточение добычных операций на таких участках может привести к региональному воздействию на биологические процессы и плотность организмов до такой степени, что под вопросом может оказаться выживание некоторых видов.

20. Нереалистично ставить целью регулирование и защиту всех существующих в мире морских участков гидротермального образования и просачивания минералов. Вместо этого следует сосредоточивать обсуждения на критериях выявления участков для будущей защиты, которые имеют критическое значение, или особо чувствительны к вмешательству, ввиду их научной или образовательной ценности или их значения для выживания биологических видов.

Примечания

- ¹ Питер Рона, Институт изучения морских и прибрежных районов, Университет Ратгерса, Нью-Джерси (Соединенные Штаты Америки).
- ² Петер М. Херциг, Фрайбергский горно-технический университет (Германия).
- ³ Джеймс Р. Хайн, председатель Международного общества морских полезных ископаемых
- ⁴ С. Ким Джунипер, Квебекский университет, Монреаль (Канада).