



Полиметаллические сульфиды

- Распределение
- Ресурсный потенциал
- Окружающая среда
- Изучение, разведка и будущая добыча

Открытие и формирование

В 1979 году на Восточно-Тихоокеанском поднятии у побережья штата Нижняя Калифорния (Мексика) на 21° с.ш. учеными, занимавшимися изучением океанического ложа, были обнаружены напоминающие дымовую трубу образования темных пород поверх сульфидных холмов, изрыгающие горячую воду и окруженные видами животных, которые отличались от всех ранее известных. Как показали выполненные с тех пор исследования, эти комплексы «черных курильщиков» являются выходами новой океанической коры, обнажившимися в результате спрединга морского дна при сближении или расхождении тектонических плит, подстилающих земную поверхность. Помимо прочего, к этому явлению тесно приурочено образование на морском дне залежей металлических полезных ископаемых.

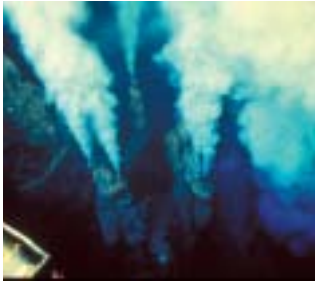
На глубинах до 3700 м гидротермальные флюиды, просочившись из океана в подземные камеры, где они нагреваются расплавленной подкорковой породой (магмой),

выбрасываются из «черных курильщиков», имея температуру до 400°C. При перемешивании этих флюидов с окружающей холодной морской водой **металлические сульфиды** осаживаются из воды на поверхность «курильщиков» и близлежащего морского дна. Эти сульфиды, включающие галенит (свинец), сфалерит (цинк) и халькопирит (медь), аккумулируются на морском дне и непосредственно под ним, образуя массивные залежи, мощность которых может варьироваться от нескольких тысяч до 100 миллионов тонн. То обстоятельство, что в некоторых из таких массивных сульфидных залежей высока концентрация обычных (медь, цинк, свинец) и – что особенно важно – благородных (золото, серебро) металлов, возбудило в последнее время интерес международных горнопромышленных кругов. Многие залежи полиметаллических сульфидов обнаруживаются также на участках, которые уже утратили вулканическую активность.

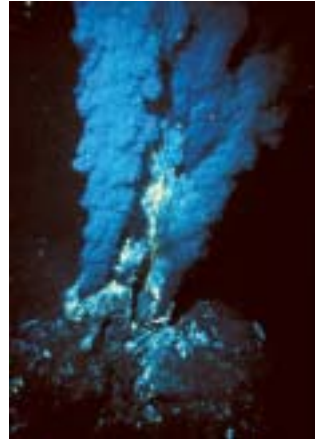


Формирование сульфидов на морском дне. (Питер Рона)

Распределение



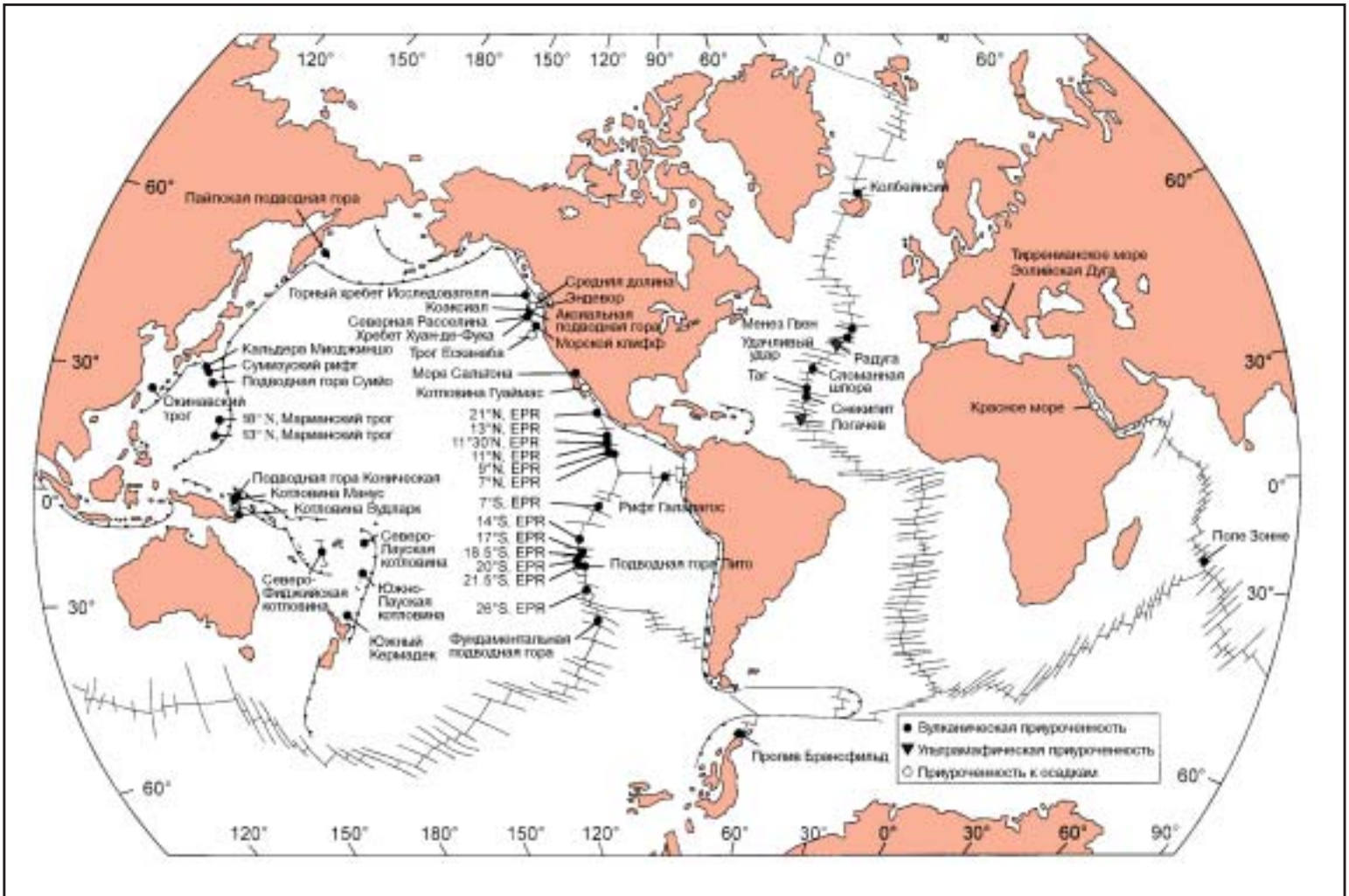
Большинство участков обнаружено посреди океана: на Восточно-Тихоокеанском, Юговосточно-Тихоокеанском и Северовосточно-Тихоокеанском поднятиях. Известно также несколько залежей на Срединно-Атлантическом хребте, тогда как в системе хребтов Индийского океана обнаружена всего одна такая залежь. Налочисленность известных залежей сульфидов на Срединно-Атлантическом и Центральноиндийском хребтах объясняется прежде всего слабой исследованностью этих районов. Во всем же мире лишь 5 процентов из 60 000-километровой протяженности океанических хребтов подверглось сколь-нибудь подробной съемке.



В середине 80-х годов дополнительные залежи сульфидов были открыты в юго-западной части Тихого океана – на океанических окраинах, где между континентом и вулканическими островными дугами встречаются котловины и хребты. В этих так называемых задуговых спрединговых центрах магма поднимается близко к поверхности на конвергентных границах плит, т.е. там, где одна тектоническая плита заходит под другую (этот процесс

носит название «субдукции»). В результате этих открытий были выполнены обширные работы по изучению окраинных котловин, а также дуговых и задуговых систем западной и юго-западной частей Тихого океана, что привело к обнаружению новых залежей в котловине Лау и Северо-Фиджийской котловине (к востоку от Австралии) и Окинавском трого (к юго-западу от Японии). В 1991 году были обнаружены обширные сульфидные залежи, приуроченные к фельзитическому вулканизму (наиболее взрывной тип вулканической деятельности, при котором образуется больше всего пепла) в таких местах, как котловина Манус к северу от Новой Каледонии. Гидротермальные залежи обнаружены также в расположенной неподалеку котловине Вудларк, где явление спрединга морского дна захватывает и континентальную кору восточнее Папуа – Новой Гвинеи. Сегодня известно более 100 участков гидротермальной минерализации, включая как минимум 25 участков, на которых действуют высокотемпературные «черные курильщики».

Черные курильщики в котловине Лау (Питер Херзиг)



Местоположение гидротермальных систем и полиметаллических сульфидов на современном морском дне (Питер Херзиг)

Содержание металлов



Массивная руда сульфида (Питер Херзиг)

Сопоставление почти 1300 химических анализов донных сульфидов показывает, что залежи, образовавшиеся в различных вулканических и тектонических условиях, характеризуются разной пропорцией металлов. В сравнении с пробами, взятыми на бедных осадками срединно-океанических хребтах, массивные сульфиды, сформировавшиеся в задуговых спрединговых центрах в среде, варьирующейся от базальтовой до андезитовой (573 пробы), характеризуются высокими в среднем концентрациями цинка (17 процентов), свинца (0,4 процента) и бария (13 процентов), тогда как процент железа в них мал. Полиметаллические сульфиды, взятые на задуговых рифтах континентальной коры (40 проб), тоже имеют низкое содержание железа, однако они обычно богаты цинком (20 процентов) и свинцом (12 процентов) и имеют высокую концентрацию серебра (1,1 процента, или 2304 г/т). В целом общий состав залежей донных сульфидов в различных тектонических условиях обуславливается характером пород вулканического происхождения, из которых выщелачиваются металлы.

Не так давно была обнаружена высокая концентрация золота в пробах сульфидов, взятых из задуговых спрединговых центров, – при том что среднее содержание золота в залежах, встречающихся на срединно-океанических хребтах, составляет всего лишь 1,2 г/т (1259 проб). В сульфидах из задуговой котловины Лау содержание золота составляет до 29 г/т, а в среднем – 2,8 г/т (103 пробы). В Окинавском трого богатые золотом (до 14 г/т, а в среднем 3,1 г/т (40 проб)) залежи сульфидов встречаются на задуговом рифте в пределах континентальной коры. Предварительные анализы сульфидов из восточной части котловины Манус дают средний показатель в 15 г/т, а максимальный – 55 г/т золота (26 проб). Высокое содержание золота (до 21 г/т) обнаружено на баритовых жерлах в котловине Вудларк. Наиболее богатая золотом из обнаруженных на сегодняшний день донных залежей располагается на подводной горе Коническая в территориальных водах Папуа- Новой Гвинеи, неподалеку от острова Лихир. Максимальная концентрация золота в пробах, взятых с вершинного плато этой подводной горы (диаметр в основании 2,8 км на глубине 1600 м, вершина на глубине 1050 м), достигает 230 г/т, а в среднем составляет 26 г/т (40 проб), что примерно в 10 раз превышает средний показатель для экономически значимых месторождений золота на суше.

Тоннажные оценки

Расчеты по ряду залежей на срединно-океанических хребтах позволяют говорить о показателях между 1 млн. и 100 млн.т. Однако сплошность сульфидных выходов с трудом поддается вычислению, а о толщине залежей обычно известно мало. Самые крупные залежи обнаруживаются на разрушенных и сильно седиментированных, но по-прежнему гидротермально активных океанических хребтах. Данные буровых работ, выполненных в рамках международной Программы океанического бурения на покрытом осадками месторождении Мидл-Валли на северной части хребта Хуан-де-Фука у северо-западного побережья Соединенных Штатов, дают показатель примерно в 8-9 млн.т сульфидной руды. Скважина, пробуренная на глубину 125 м на одном из действующих гидротермальных жерл Трансатлантического геотраверза, которое расположено на глубине 3650 м на Срединно-Атлантическом хребте на 26 с.ш., дает основания предположить показатель примерно в 2,7 млн. т сульфидной руды над поверхностью морского дна и примерно 1,2 млн. т под его поверхностью – в штокверке, по терминологии геологов. Массивных сульфидных месторождений, сопоставимых по размеру с месторождениями Кидд-Крик в Канаде (135 млн.т) или Невинс-Корву в Португалии (262 млн. т), на морском дне пока не обнаружено.

Крупнейшим известным морским месторождением сульфидов является впадина Атлантида II в Красном море, которая была открыта более чем за 10 лет до того, как был открыт первый «черный курильщик» на Восточно-Тихоокеанском поднятии. В минеральном отношении Атлантида II состоит в основном из не массивных сульфидов, а из металлоносных илов. Детальная оценка этого месторождения, площадь которого составляет 40 кв. км, дает следующую картину: 94млн. т руды в сухом состоянии при содержании цинка 2,0 процента, меди 0,5 процента, серебра 39 г/т и золота 0,5 г/т, причем содержание драгоценных металлов составляет где-то 4000 т серебра и 50 т золота. Опытные-экспериментальные добычные работы на глубине 2000 м показали, что это месторождение можно успешно эксплуатировать.

Ресурсный потенциал



Разрез дымовой трубы сульфида (Питер Херзиг)

Морские добычные работы представляются реальными при наличии определенных условий, включающих в идеале: 1) высокую сортность обычных металлов и/или золота, 2) не слишком большую удаленность участка от суши и 3) залегание участка на небольшой глубине, ненамного превышающей 2000 м (хотя имеется технология для ведения добычных работ и на больших глубинах). При наличии этих условий разработка массивных сульфидов может стать экономически привлекательной, если учитывать, что весь добычный комплекс транспортабелен и может переноситься с одного участка на другой. Тем самым капиталовложения в добычные

системы и суда не будут привязаны к какой-то одной точке, как это происходит на суше, где разработка месторождения в удаленном районе, включающая создание всей инфраструктуры, требует, как правило, существенных начальных инвестиций.

Добыча массивных сульфидов морского дна сосредоточится, скорее всего, на сравнительно небольших участках и ограничится в основном поверхностью и расположенными непосредственно под поверхностью недрами (открытая разработка): разработке подвергнутся сульфидные холмы и гидротермальные поля на морском дне и замещающие рудные тела в штокверковой зоне непосредственно под морским дном.

Изучение, разведка и будущая добыча

Академические и государственные учреждения в разных районах мира осуществляют научное изучение залежей полиметаллических сульфидов и приуроченных к ним экосистем. Ведущими в этой области странами являются Австралия, Германия, Канада, Российская Федерация, Соединенное Королевство, Соединенные Штаты, Франция и Япония. Исследовательские программы разработаны так же в Италии и Португалии.

Разведка требует использования комплексных, многоцелевых научно-исследовательских судов, на которых применяются новейшие технологии, например аппаратура для глубоководного картирования, обитаемые подводные аппараты или дистанционно управляемые средства, системы фото- и видеосъемки, устройства для взятия проб и бурения. Буровое и пробоотборочное оборудование необходимо усовершенствовать, чтобы вести бурение на глубину до 100 м. Комплексов, которые специализировались бы на добыче сульфидов, пока не разработано, но, скорее всего, это будут комплексы непрерывной добычи с вращающимися буровыми коронками, подсоединенные к устройству для подъема рудной пульпы на добычное судно с последующей его транспортировкой на перерабатывающую установку.

Будущие правила

В настоящее время Международный орган по морскому дну рассматривает проблемы, связанные с будущим регулированием поиска и разведки полиметаллических сульфидов и кобальтоносных корок в глубоководных районах океана за пределами национальной юрисдикции. Впервые этот вопрос предметно обсуждался в августе 2002 года Советом Органа (в составе 36 членов) и Юридической и технической комиссией. Эта тема была внесена на рассмотрение Органа в 1998 году Российской Федерацией. В 2001 году Секретариат подготовил частичный свод типовых положений, учтя при этом замечания, высказанные участниками научного практикума, который проводился по данной теме Органом в 2000 году. В ходе обсуждений была особо подчеркнута необходимость обеспечить защиту затрагиваемых экосистем от каких-либо негативных последствий разведочных, а в перспективе – и добычных работ.

Среди вопросов, которые предстоит уладить, фигурирует вопрос о том, не должны ли эти две категории ресурсов регулироваться разными правилами и как эти правила будут отличаться от действующих правил по полиметаллическим конкрециям, которые были утверждены Органом в 2000 году. Параллельная система разработки ресурсов, которая предусмотрена Конвенцией по морскому праву и при которой участки морского дна, выделяемые перспективным разработчикам, поровну делятся между контракторами и Органом, была задумана применительно к конкрециям, которые разбросаны по обширным площадям морского дна, поддающимся более справедливому разделу. Корки же и сульфиды встречаются более концентрированно и распределяются более неравномерно, а разные участки их залегания сильнее различаются по содержанию металлов. Еще одно отличие состоит в том, что большинство известных залежей корок и сульфидов расположено в районах под национальной юрисдикцией, так что их освоение будет конкурировать с их разработкой в международном районе. Одно из предлагаемых решений состоит в том, чтобы Орган не разрабатывал участки самостоятельно, а организовывал совместные предприятия с контракторами.

Орган продолжит работу по этой теме в 2003 году.

Окружающая среда

Гидротермальные жерла, к которым приурочены залежи массивных сульфидов, служат средой обитания для разнообразных видов животных, ранее науке не известных. В отличие от других форм жизни на «емле, которые прямо или опосредованно зависят от солнечного света и фотосинтеза для получения энергии, жерловое сообщество процветает в лишенной света горячей «ванне», насыщенной сероводородом – химическим веществом, смертельным для большинства других животных. В этой среде обитают двухметровые черви, живущие в созданных ими же трубках, не имеющие системы пищеварения и черпающие энергию из микроорганизмов, которые окисляют метан и сульфиды. Вокруг этих биологически многообразных жерловых участков обнаружено около 500 ранее не известных видов животных.



Сульфидное жерло с трубчатыми червями

При планировании разведки и разработки полезных ископаемых необходимо будет учесть уникальность и хрупкость этой географически разнесенной экосистемы и то значение, которое она имеет для фундаментального биологического изучения процессов метаболизма, эволюции и адаптации. Выполненные исследования указывают на стойкость существующих популяций в быстро меняющейся среде вулканически активного района. Эта стойкость может объясняться наличием «материнской популяции», способной реколонизировать возмущенный район. Однако, если эта исходная популяция будет уничтожена в ходе добычных работ, редкие виды могут исчезнуть.

Многие из экологических последствий разработки сульфидов будут сходны с экологическими последствиями разработки полиметаллических конкреций, включая разрушение поверхностей, на которых обитают животные, погребение их под возмущенными осадками и химические изменения, вызванные появлением в придонной воде шлейфа из взвешенных частиц. С другой стороны, высокая плотность сульфидных частиц будет приводить к немедленному переосаждению любого сульфидного мусора, произведенного добычным оборудованием. Из-за того, что большая поверхность будет открыта для воздействия морской воды, определенная часть высвобожденного сульфидного мусора будет окисляться примерно так, как окисляются неактивные массивные сульфиды во многих залежах морского дна. С кислотным стоком, который обычно вызывает существенные проблемы для окружающей среды при разработке сульфидов на суше, на морском дне большой проблемы не будет в силу разжижающего действия окружающей морской воды. Кроме того, в местах залегания большинства сульфидных месторождений морского дна седиментационный покров обычно незначителен. Поэтому разработка некоторых залежей, особенно неактивных, не заселенных каким-либо видом жерловой фауны, возможна, а ее экологические последствия будут, вероятно, не сильнее, чем при строительстве обычного портового сооружения.