

УДК 553.04:551.462](260)

И. Ф. Глумов<sup>1</sup>, А. И. Глумов<sup>2</sup>, Ю. Б. Казмин<sup>3</sup>, В. М. Юбко<sup>4</sup>

## МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ МЕЖДУНАРОДНОГО РАЙОНА МОРСКОГО ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

*Рассмотрены проблемы, связанные с металлогеническим потенциалом Мирового океана. Показана необходимость подготовки к их освоению как альтернативного источника сырья, в первую очередь по стратегически важным металлам.*

Мировой океан обладает огромными запасами твердых полезных ископаемых. Высоким металлогеническим потенциалом отличаются вулканогенно- и гидротермально- активные области центров спрединга морского дна. Тесные пространственно-генетические связи с данными областями характерны для сульфидных залежей, представленных здесь двумя фациально-генетическими типами: 1) рудно-иловым гидротермально-осадочным и 2) массивных руд, формирующихся в результате комбинации гидротермально-осадочного и биогенно-метасоматического способа локализации рудного материала. Третий тип глубоководных месторождений сульфидов представлен скоплениями массивных гидротермально-осадочных руд, ассоциирующихся с кальдерами подводных вулканов, расположенных за пределами активных областей срединных хребтов. Отличительной чертой руд всех названных типов месторождений является уникальная обогащенность их цветными металлами. Содержания меди и цинка в рудах варьируют от первых до нескольких десятков процентов.

Гигантскими масштабами распространения характеризуется другая группа глубоководных рудных образований: донно-поверхностные скопления окисных руд, в первую очередь, черных металлов: марганца, железа, никеля, кобальта. Различаются три вещественно-генетических типа таких месторождений. К первому типу относятся гидротермально-осадочные коркоподобные скопления массивных железомарганцевых руд, пространственно ассоциирующихся с тектонически и магматически активными областями морского дна. Генезис месторождений второго типа, морфологически и вещественно достаточно сходных с первым, может быть определен как гидрогенно (седиментационно)-осадочный. Наиболее интенсивно процесс накопления гидрогенно-осадочных Fe-Mn руд, как правило существенно обогащенных кобальтом (до 1% и выше), протекает в пределах относительно более древних подводных гор, возвышенностей и плато. Третий тип месторождений представлен приуроченными к поверхности дна абиссальных

© И. Ф. Глумов<sup>1</sup>, А. И. Глумов<sup>2</sup>, Ю. Б. Казмин<sup>3</sup>, В. М. Юбко<sup>4</sup>:

<sup>1</sup> Министерство природных ресурсов Российской Федерации.

<sup>2</sup> Дипломатическая академия МИД России.

<sup>3</sup> Федеральное агентство по недропользованию МПР России.

<sup>4</sup> Государственный научный центр "Южморгеология".

равнин (реже — погребенными) скоплениями железомарганцевых конкреций гидрогенно (седиментационно)-диагенетической природы. Отличительными признаками месторождений этого типа являются крупные размеры занимаемых ими площадей (десятки тысяч км<sup>2</sup>), а также значительные ресурсы марганца, никеля, меди и кобальта (порядка нескольких сот миллионов тонн).

В пространственном распределении перечисленных типов месторождений сульфидных и окисных руд просматриваются признаки упорядоченности. Вблизи гидротермальных источников рудного вещества, ассоциирующихся с вулканически и тектонически активными областями дна, формируются месторождения преимущественно сульфидных, преобладающие массивных руд с повышенными содержаниями цветных металлов. По мере удаления от таких областей признаки первичной природы источников рудных элементов постепенно утрачиваются, что обуславливает формирование либо неконсолидированных, либо массивных гидрогенных окисных руд черных металлов. На участках дна, наиболее удаленных от источников рудного вещества, в силу дефицита последнего реализуется лишь конкреционный способ его локализации.

Регулирование деятельности в Международном районе морского дна Мирового океана осуществляется Международным органом по морскому дну ООН, штаб-квартира которого находится на Ямайке.

### **Железомарганцевые конкреции (ЖМК)**

*Характеристика пространственного распределения ЖМК в Мировом океане.* Современные подходы к оценке пространственного распределения ЖМК в Мировом океане основываются на анализе критериев конкрециенности океанского дна в глобальном, региональном и локальном масштабах. Критерии глобального порядка учитывают тенденцию пространственного распределения отличающихся определенной геохимической специализацией крупных скоплений ЖМК в виде трансокеанических субширотных мегапоясов, как отражения (в первом приближении) климатической зональности Земли. К наиболее надежным критериям регионального порядка, контролирующим пространственную позицию индивидуальных полей и месторождений ЖМК внутри конкреционных мегапоясов, относятся: 1 — положение конкретных участков дна абиссальных котловин относительно критической глубины карбонатакопления (КГК), 2 — скорости осадконакопления, 3 — состав и строение осадочного чехла, 4 — характер источников рудного материала. Критерии локального порядка, определяющие зависимость конкрециенности от конкретных особенностей геоморфологии и рельефа дна, а также явлений эрозионной, литодинамической и вулканогенной природы, контролируют пространственное распределение элементарных рудных скоплений на площади конкреционных месторождений.

Согласно современным представлениям наиболее крупные скопления ЖМК сосредоточены в пределах Тихого океана (рис. 1). Суммарное коли-

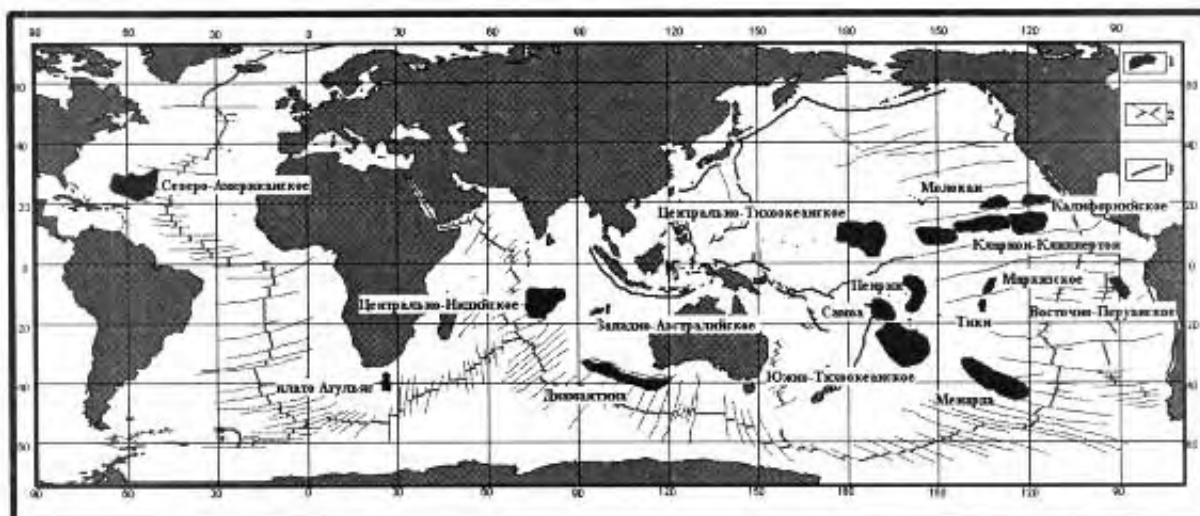


Рис. 1. Схема расположения рудных полей ЖМК:

1 — рудные поля, 2 — разломы системы СОХ, 3 — глубоководные желоба

чество ЖМК в его пределах оценивается в 165 млрд тонн. Ресурсы ЖМК Индийского и Атлантического океанов гораздо более скромные — около 43 млрд т и 9 млрд т соответственно. Кроме того, в Тихом океане сосредоточены наиболее богатые по содержанию полезных компонентов, в первую очередь — марганца, никеля, меди и кобальта поля ЖМК (Кларион — Клиппертон, Перуанское, Центральнотихоокеанское). С наиболее бедными из названных полей могут сравниться наиболее обогащенные рудными компонентами поля Индийского океана (Центральноиндийское, Диамантина). Для Атлантического океана поля с богатыми ресурсами ЖМК и высокими содержаниями рудных элементов, очевидно, не характерны.

**Конкреционное поле Кларион-Клиппертон.** Конкреционное поле Кларион — Клиппертон является на сегодняшний день наиболее изученным из всех полей Мирового океана. Поле имеет форму субширотной полосы шириной 300–700 км, протягивающейся между разломами Кларион и Клиппертон более чем на 4000 км. Литолого-фациальная и структурно-тектоническая неоднородность зоны Кларион-Клиппертон отражается в особенностях пространственного распределения абсолютных количеств ЖМК, а также их фациальных и геохимических разновидностей.

Различаются, по крайней мере, три уровня изменчивости внутренней структуры поля. Первый уровень отражает закономерный характер региональной изменчивости распределения весовых концентраций ЖМК внутри рассматриваемого поля. Закономерность определяется существованием осевой области конкреционной полосы, характеризующейся относительно повышенными значениями весовых концентраций ЖМК и протягивающейся по простиранию поля в 100–150 км к югу от разлома Безьянного. Содержанием второго уровня изменчивости является возрастание весовых концентраций ЖМК в направлении с запада на восток. Третий, наиболее высокопорядковый уровень изменчивости связан с особенностями формы, размеров и внутреннего строения элементарных скоплений (рудных залежей) ЖМК.



*Конкреционное поле Центральной котловины Тихого океана.* Основная масса скоплений ЖМК Центральной котловины приурочена к участкам дна с глубиной от 5000 до 6500 м. В восточной части котловины (165–173° з. д.) концентрация ЖМК в среднем не превышает 5 кг/м<sup>2</sup>. В юго-восточной части впадины Магеллана эта величина еще более низкая. В северо-восточной части котловины отмечаются отдельные конкреционные скопления площадью до 20×150 м<sup>2</sup>, весовая концентрация ЖМК в пределах которых изменяется от 5 до 22 кг/м<sup>2</sup>. Скопления тяготеют к межгорным впадинам, пространственно приуроченным к узлам сочленения разломов, а также к склонам подводных гор. В юго-восточной части котловины скопления ЖМК с весовой концентрацией от 5 до 10 кг/м<sup>2</sup> тяготеют к вулcano-тектоническому поднятию (отрогу островов Лайн).

Основная рудоносная площадь с весовой концентрацией ЖМК более 10 кг/м<sup>2</sup> протягивается в виде полосы шириной до 110 км вдоль субширотной зоны разлома, являющейся западным продолжением желоба Магеллана. На восточном фланге (173–177° з. д.), на участке ее сочленения с зоной разлома северо-восточного простирания, эта рудоносная площадь расширяется до 300–500 км. Скопления ЖМК здесь приурочены к северному склону возвышенности Магеллана и Центральному поднятию. Во впадине между этими поднятиями весовая концентрация ЖМК увеличивается до 20–40 кг/м<sup>2</sup>. Зона разлома северо-восточного простирания, прослеживающаяся от поднятия Магеллана на юге до г. Витязя на севере, как бы разграничивает впадину Магеллана на две части: западную, в пределах которой ЖМК относительно обогащены железом и кобальтом, и восточную, для которой характерны низкие весовые концентрации ЖМК, но высокие содержания в них марганца, никеля и меди.

В юго-западной части котловины (176–179° в. д. и 7–10° с. ш.) скопления ЖМК приурочены к подножию вулcano-тектонического поднятия Маршалловых островов. Здесь отмечаются наиболее высокие концентрации конкреций (20–48 кг/м<sup>2</sup>). С запада и юга площадь повышенной конкреционности не оконтурена.

Таким образом, скопления ЖМК с высокой весовой концентрацией в Центральной котловине приурочены к положительным формам рельефа глубоководных равнин и к узким межгорным впадинам. Наиболее высокие концентрации ЖМК (более 20 кг/м<sup>2</sup>) отмечаются на склонах и вершинах холмов в пределах участков, пространственно тяготеющих к зонам крупных разломов и к узлам их сочленения. В пределах крупных поднятий и возвышенностей с повышенной мощностью осадочных отложений конкреции практически отсутствуют. На вершинах вулканических гор и гряд развиты железомарганцевые корки.

Пространственная изменчивость количественных и качественных характеристик ЖМК Центральной котловины как в региональном, так и локальном масштабах резко отлична от таковой в рассмотренном примере зоны Кларион — Клиппертон. Главное отличие состоит в том, что для конкреций Центральной котловины весьма типична тесная взаимосвязь между параметрами их состава и значениями весовых концентраций.

**Конкреционное поле Перуанской котловины.** Несмотря на определенную ограниченность данных о конкрециенности Перуанской котловины, имеющих представительный характер лишь для ее западной и северо-восточной частей, региональные особенности распределения скоплений ЖМК поддаются здесь достаточно надежной интерпретации. По-видимому, крупные скопления конкреций для большей части котловины, исключая ее северо-восточную часть, не характерны. Это обстоятельство связано с неблагоприятными региональными условиями конкрециеобразования на площадях депрессии Бауэр, впадины Юпанкуа и Галапагосского поднятия.

Основным фактором, препятствующим конкрециеобразованию в пределах Галапагосского поднятия, является положение КГК: большая часть поверхности дна океана находится здесь выше ее уровня. По этой причине на поднятии в основном реализуется процесс биогенного карбонатакопления, не способствующий росту ЖМК. Причины отсутствия крупных скоплений во впадинах Бауэр и Юпанкуа другого рода: здесь, благодаря влиянию гидротермальных систем, действующих в пределах Восточнотихоокеанского поднятия (ВТП) и на площади самих впадин, в процесс седиментогенеза включены повышенные количества рудных компонентов, что приводит к накоплению современных металлоносных илов, формирование которых альтернативно процессу конкрециеобразования. Тем не менее, случаи реализации данного процесса иногда отмечаются и в названных впадинах: в некоторых точках опробования обнаружены ЖМК с весовой концентрацией до  $10 \text{ кг/м}^2$  и содержанием железа 10,8%, марганца 25,4%, никеля 0,97%, меди 0,48%, кобальта 0,17%.

Перспективы южной, наименее изученной части Перуанской котловины в отношении крупных скоплений ЖМК пока еще недостаточно ясны, хотя единичные сведения о наличии здесь конкреций с весовыми концентрациями более  $5 \text{ кг/м}^2$  имеются. Представляет интерес тот факт, что вблизи разлома Миндана опробованы ЖМК с повышенным содержанием железа (до 14%) и марганца (до 47%).

Наиболее крупное скопление конкреций Перуанской котловины площадью около  $400 \text{ тыс. км}^2$  приурочено, как уже упоминалось, к ее северо-восточной части. Весовые концентрации ЖМК варьируют в пределах  $7\text{--}30 \text{ кг/м}^2$ . Содержания рудных элементов составляют: марганца 27,6–44,7%, железа 2,0–10,1%, никеля 0,84–1,59%, меди 0,49–0,91%, кобальта 0,08–0,18%.

**Конкреционное поле Центральной котловины Индийского океана.** Конкрециенность Центрально-Индийской котловины характеризуется весьма высоким уровнем изменчивости, связанной с батиметрическим положением КГК, региональными и локальными вариациями литофациальных разновидностей донных осадков. Наиболее крупные скопления ЖМК приурочены к кремнисто-глинистым и карбонатно-кремнисто-глинистым илам, а также пелагическим глинам. В зонах развития этих осадков конкреции также распространены неравномерно. Области абиссальных равнин со спокойным рельефом характеризуются менее интенсивной конкрециенностью (до  $5 \text{ кг/м}^2$ ), чем фланговые части глыбововулканических сооружений и зон

разломов, где весовые концентрации достигают максимальных (до 46 кг/м<sup>2</sup>) значений.

Химический состав и морфологические особенности ЖМК в Центральноиндийской котловине проявляют достаточно тесную связь с характером пелагического седиментогенеза. Так, в экваториальной зоне биогенного кремненакопления широко распространены близкие к сфероидальным конкреции с бугорчатой шероховатой поверхностью. Эти конкреции залегают на глинисто-кремнистых и кремнисто-глинистых илах в широтной зоне между 6–7° и 15–16° ю. ш. С глинистыми осадками южной части региона, а также с карбонатно-глинистыми илами приподнятых участков дна в пределах экваториальной зоны связаны ЖМК, обычно имеющие вид гроздьевидных сростаний нескольких мелких индивидов самой разнообразной формы и с гладкой поверхностью.

Конкреции первого типа отличаются от вторых повышенным содержанием марганца, никеля и меди. Для тех и других характерна отрицательная корреляционная связь между весовыми концентрациями ЖМК и содержанием этих рудных элементов. Конкреции, содержащие никель и медь в количестве, превышающем для каждого элемента 1%, обычно встречаются в виде скоплений с весовой концентрацией не более 10–12 кг/м<sup>2</sup>.

Содержание кобальта в конкрециях первого типа не превышает 0,2%. В южных частях котловины конкреции, образующие в глинистых и карбонатно-глинистых осадках скопления с весовой концентрацией более 5 кг/м<sup>2</sup>, нигде не содержат никель и медь в количестве, превышающем 0,8%. Содержание кобальта колеблется здесь от 0,2 до 0,3%.

**Конкреционное поле Диамантина.** Распределение ЖМК в юго-восточной части Индийского океана контролируется структурно-тектонической обстановкой. Площади максимального распространения конкреций пространственно тяготеют к фланговым частям зоны глубинных разломов Оби — Диамантина. В этих районах скопления ЖМК ассоциируются с мергельными и карбонатными нанопланктонными и кокколито-фораминиферовыми осадками, карбонатность которых достигает 89%, а также с пелагическими глинами, где зафиксированы весовые концентрации ЖМК до 54 кг/м<sup>2</sup>.

Конкреции, распространенные в этой зоне, представляют собой крупные образования (до 12 см в поперечнике) сфероидальной или цилиндрической формы с почковидным характером поверхности. Обычно это одно- или двухъядерные ЖМК с грубослоистой текстурой рудных концентров. Ядра конкреций сложены материалом вмещающих осадков, иногда в той или иной степени оруденелым.

В южных районах поля (на склоне Австрало-Антарктического поднятия и прилегающих частях глубоководной котловины) развиты мелкие (в среднем от 2 до 4 см в диаметре) конкреции с гладким характером поверхности, тонкослоистым концентрически-зональным строением и ядрами из эдафогенного материала или гидроксидов марганца и железа. Обычно эти конкреции образуют гроздьевидные сростания, иногда формирующие сплошное покрытие (“мостовые”) поверхности дна. Тем не менее, весовые



концентрации ЖМК в этой части поля невысоки и обычно не превышают 5 кг/м<sup>2</sup>. Еще далее к югу, на склоне Австрало-Антарктического поднятия на поверхности осадков конкреции отсутствуют. Иногда они встречаются здесь в захороненном состоянии.

**Строение ЖМК.** При всем многообразии форм, размеров и других внешних характеристик железомарганцевых конкреций их общим признаком является концентрически-зональное (концентрически-слоистое) строение. Данное обстоятельство служит причиной того, что подавляющая часть конкреций имеет сфероидальную или близкую к ней форму. К числу же факторов, обуславливающих изменчивость параметров внешних и внутренних свойств ЖМК, относятся: характер ядер конкреций; характер и состав фаз рудного вещества, слагающего обособленные микрослои; фациально-генетические условия локализации конкреционных обособлений. Определенные комбинации перечисленных факторов обуславливают в целом закономерный характер изменчивости внешних признаков фациальных типов ЖМК, в ряду которых выделяются две крайние ("А" и "С") и большая группа промежуточных ("В") разновидностей.

Характерными общими внешними признаками разновидности ЖМК "А" являются: небольшие размеры (0,5–5 см в поперечнике), близкая к сфероидальной или эллипсоидальной форма единичных обособлений, а также элементов, служащих составными частями сростковых разновидностей, однородный гладкий тип поверхности. Внутреннее строение одноядерных и сростковых многоядерных ЖМК данной разновидности соответственно моно- и поликонцентрически-слоистое. Ядро (или ядра) занимает от 5 до 15% объема и обычно сложено нерудным материалом.

Разновидность ЖМК "С" представлена морфологическими типами, к общим чертам которых относятся: преобладание фракций 5–10 см; неоднородный характер поверхности: верхняя, выступающая над осадками — гладкая, нижняя, погруженная в осадок — зернистая, шероховатая; наличие характерного "экваториального пояса" — кольцеобразного рудного утолщения, развивающегося вдоль границы верхней и нижней поверхностей ЖМК.

Наиболее распространенными формами ЖМК разновидности "С" являются дисковидные, эллипсоидальные и полигональные. Внутреннее строение их также концентрически-слоистое, однако ядра здесь или оруденелые, или представлены фрагментами более древних ЖМК.

Как уже упоминалось, основными элементами внутреннего строения железомарганцевых конкреций являются концентрически слоистые рудные микрослои. К главным признакам, позволяющим отделять один слой от другого, относятся тип внутренней текстуры конкретного микрослоя, а также наличие прослоев нерудного вещества и эрозионных, или деструктивных границ.

В настоящее время известны более десяти типов текстур микрослоев ЖМК, наиболее распространенными среди которых являются слоистая, колломорфная, глобулярная, дендритовая, столбчатая и компактная. Масивные и дендритовые (пятнистые) текстуры характерны для слоев, сло-

женных кристаллическими фазами рудных минералов, а слоистая, глобулярная, столбчатая и компактная — рентгеноаморфной.

Столбчатая текстура представляет собой сочетание расположенных перпендикулярно внешней и внутренней границам микрослоев столбцов рудного материала диаметром 0,05–0,2 мм. Столбцы имеют концентрически-расслоенное строение, обусловленное чередованием тончайших (микронных) дугообразных слоев преимущественно аморфного материала, выпуклых в сторону внешних границ микрослоев и ЖМК в целом. Распределение этих слоев в индивидуальных столбцах однотипное. Пространство между соседними столбцами, в срезе имеющее вид очень тонких (0,005–0,01 мм), нормальных к слоистости трещин, заполнено нерудным, преимущественно глинистым материалом.

Компактная текстура отражает, прежде всего, однородный характер рудного, в основном аморфного материала, слагающего относительно выдержанные протяженные микрослои. Внутреннее строение таких микрослоев в некоторой степени сходно с внутренним строением индивидуальных столбцов вышеописанного типа текстуры, однако, дугообразные элементы тончайшей слоистости в данном случае сочленяются друг с другом по простиранию, образуя в разрезе более или менее отчетливо выраженные волнистые линии микронаслоений.

Слоистая текстура определяет тончайшее чередование слоев аморфного вещества, имеющих параллельные и искривленные (вследствие развития наслоений колломорфной структуры) границы. Составными элементами этого типа текстуры часто являются подчиненные прослои нерудного (глинистого) материала, включения обломков органического происхождения, вулканического стекла и т. п.

Массивная текстура отвечает скоплениям однородного рудного материала, имеющего, в отличие от материала текстурнокомпактных микрослоев, микрокристаллическую структуру. Под микроскопом компактная и массивная текстуры отличаются по отражательной способности (микрослои компактной текстуры имеют более высокую отражательную способность), а также по характеру анизотропии: в скрещенных николях рудный материал массивной текстуры анизотропен, компактной — изотропен.

Дендритовая (пятнистая) текстура характеризуется двумя формами проявления. Первая отвечает типично дендритовому типу, представленному тончайшими ветвящимися древовидными и перистыми агрегатами рудного вещества, распространяющегося вдоль субкапиллярных трещинок в стекловатых и тонкозернистых нерудных донных образованиях. Вторая соответствует объемно-дендритовому типу: удлиненные в радиальном по отношению к ядру конкреций направлении, слегка расширяющиеся кверху, иногда ветвящиеся, округлые в поперечном сечении дендриты роста образуют своеобразную матрицу микрослоя. Диаметр дендритов — 0,05–0,15 мм, их высота соразмерна с мощностью конкретных микрослоев. Междендритовое пространство, занимающее в общем объеме микрослоя до 15%, иногда и более, выполнено нерудным (глинистым) материалом. В дендритоформ-



ных слоях с высоким содержанием глинистой составляющей происходит трансформация текстуры в пятнистую с характерной хаотичной и прерывистой слоистостью. Внутреннее строение собственно дендритов определяется чередованием серповидных слойков мелкокристаллического рудного материала, иногда содержащего тончайшие фестончатые выделения монтмориллонита. В редких случаях дендриты полностью сложены рудным веществом массивной текстуры.

В классификационной схеме Сорема и Фостера рудные оболочки ЖМК, сложенные текстурно разнородными агрегатами рудных минералов, получили наименование зон. Следует сказать, что упомянутые авторы не всегда понимают под зоной какой-либо конкретный микрослой. Зона — это скорее группа микрослоев сходного облика, прежде всего — текстуры. Введение понятия зоны было вызвано стремлением охарактеризовать некоторые общие черты внутреннего строения ЖМК, особенно пространственно разобщенных. Например, общей чертой строения подавляющего числа конкреций района Кларион — Клиппертон является наличие тонкослоистой внешней оболочки — зоны, имеющей мощность до 1,5 см. В целом зоны хорошо выдержаны и прослеживаются в виде концентрических слоев на всей площади поперечного сечения ЖМК. Для элементов же внутренней микрослоистости зон такая ситуация не всегда характерна. Мощность таких элементов чрезвычайно разнообразна (от микронной до 2,5 мм). Обычно микрослои слагаются текстурно однородным материалом, однако, отмечены случаи “фациальной” изменчивости рудных агрегатов по простирацию, проявляющейся, например, в трансформации дендритовой структуры в массивную.

Как правило, “фациальная” изменчивость микрослоев проявляется на фоне изменчивости их мощности, хотя вариации мощности нередко наблюдаются и в текстурно однородных микрослоях. Практически всегда в ЖМК обнаруживаются выклинивающиеся микрослои. Другой тип прерывания микрослоистости обязан существованию в ЖМК (особенно разновидности “С”) деструктивных границ, формирующихся в результате раскалывания конкреций на определенной стадии их развития.

*Химический и минеральный состав ЖМК.* Железомарганцевые конкреции представляют собой агрегат рудных и нерудных минералов, среди которых твердо установлены тодорокит, бернессит, бузерит, вернадит, асболан, гидроксиды трехвалентного железа, кварц, полевой шпат, филлипсит. К нерудной части ЖМК относятся включения базальтов и их стекол, органических остатков и т. п. Нерудная составляющая конкреций сосредоточена, как правило, в ядрах. Меньшая часть нерудного материала участвует в строении собственно рудных оболочек. Рудные оболочки слагаются гидроксидами Mn и Fe, представленными двумя минеральными фазами: кристаллической и аморфной. Кристаллическая фаза образована почти исключительно минералами марганца: тодорокитом  $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K}, \text{Ba}, \text{Mn})_2\text{Mn}_5\text{O}_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и бернесситом —  $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mn}^{2+}, \text{Mn}^{4+})_7\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . В составе аморфной фазы присутствуют как минералы железа (начальная стадия гетита —  $\text{FeOOH}$ ), так и марганца (вернадит(?)  $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

Самостоятельных минеральных форм никеля, меди и кобальта в составе ЖМК не обнаруживается, хотя концентрация этих элементов достигает заметных величин (в сумме до 3% и более). Установлено, что никель и медь в основном концентрируются в кристаллической фазе, в то время как кобальт больше тяготеет к аморфной. Предполагается, что никель, медь и кобальт включаются в состав ЖМК сорбционным способом, а в более редких случаях присутствуют в виде изоморфных примесей в кристаллической фазе.

Соотношения кристаллической и аморфной фаз ЖМК подвержены значительным колебаниям. Этот параметр служит одним из отличительных признаков разновидностей ЖМК "А" и "С": разновидность "С" обогащена по отношению к "А" кристаллической фазой марганца (тодорокит + бернессит) более чем в два раза (табл. 1). По этой же причине имеются отличия и в валовых содержаниях рудных элементов в составе упомянутых разновидностей. В целом разновидность ЖМК "С" более обогащена рудными элементами.

Еще более контрастные отличия в содержаниях рудных элементов фиксируются при сравнении химического состава собственно кристаллической и аморфной фаз. Однотипность проявления этих различий для рудных регионов состоит в обогащении медью и никелем микрослоев, сложенных микрокристаллическими, существенно марганцевыми (тодорокит-бернесситовыми) агрегатами.

Микрослои аморфного материала, состоящего из смеси рентгеноаморфных гидроксидов железа и марганца, напротив, резко обеднены упомянутыми элементами, но отличаются не менее выраженными повышенными концентрациями кобальта. Отмеченные особенности химического состава кристаллической и аморфной фаз рудной составляющей ЖМК находят отражение в резкой изменчивости содержаний рудных элементов от одного микрослоя к другому, поскольку для внутренней структуры ЖМК чередование микрослоев аморфного и микрокристаллического рудного вещества чрезвычайно типично. Относительные колебания значений содержаний рудных элементов даже в соседних микрослоях весьма значительны и со-

Таблица 1. Минеральный и химический состав ЖМК

Характеристика	Наименование	Тип ЖМК	
		"А"	"С"
Минеральный состав (относит. ед.)	Тодорокит	1,8	5,0
	Бернессит	2,3	5,5
	Вернадит	4,1	6,3
Содержания рудных элементов (%)	Fe	8,81	6,56
	Mn	22,10	30,30
	Ni	1,05	1,31
	Si	0,72	1,09
	Co	0,24	0,23

ставляют для марганца 180–220 относительных процентов, для железа до 300 и более, никеля до 1000, меди до 1500, кобальта до 1000.

Кристаллические и аморфные фазы ЖМК из различных районов Мирового океана уже достаточно продолжительное время исследуются с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). В целом хорошо согласующиеся результаты этих исследований показывают, что главные минералы кристаллической фазы — тодорокит и бернессит — образуют смешанные и мономинеральные агрегаты микрокристаллов, имеющих, чаще всего, пластинчатую и короткостолбчатую формы. Размеры поперечников пластинчатых микрокристаллов к удлинённым короткостолбчатым примерно одинаковые: 4–5 мкм или менее. Толщина их составляет соответственно, не более 0,2 и 2 мкм. Структура пластинчатых агрегатов определяется сочетанием радиально или беспорядочно сросшихся индивидуумов, иногда имеющих отчетливо различимый гексагональный габитус. В структуре агрегатов столбчатых кристаллов никакой упорядоченности не отмечается.

Естественно, индивидуализировать частицы, входящие в состав рентгеноаморфной фазы, невозможно даже с использованием СЭМ. Это средство, однако, позволяет установить, что наиболее распространенными формами аморфных обособлений являются хлопьевидная и шарообразная. Тончайшие хлопьевидные обособления слагают непрерывные микрослои, в том числе и на современной поверхности ЖМК. Шаровидные обособления, размеры которых в поперечнике нередко составляют всего 0,5–2 мкм, встречаются в виде рассеянных и сросшихся агрегатов. В последнем случае агрегаты приобретают гроздьевидную форму и образуют как непрерывные микрослои, так и локальные скопления на поверхности ЖМК или нерудного субстрата.

Что касается нерудной части железомарганцевых конкреций, то в ее составе наиболее часто отмечаются филлипсит и монтмориллонит. Неоднократно фиксировалось присутствие в примесных количествах хлорита, кварца, аморфного кремнезема, полевых шпатов, мелких обломков пород и скелетов микроорганизмов и других разновидностей детритового материала, включаемого в ЖМК в процессе их роста.

Существует еще две составляющие железомарганцевых конкреций, представленные самородными металлами и их соединениями, а также сульфидами железа и меди. Среди самородных металлов обнаружены железо, медь, цинк, алюминий и соединение меди с цинком. Форма самородных выделений разнообразна: от пластинчатой до проволоковидной. Размеры выделений таковы, что иногда позволяют наблюдать их в раздробленной массе ЖМК под биноклем. Количество сульфидов и самородных металлов рассматривается как примесное.

Итак, материал настоящего раздела дает основание утверждать, что валовый состав ЖМК зависит от соотношения кристаллической и аморфной фаз рудного вещества, минерального состава кристаллической фазы, баланса марганцевой и железистой составляющих аморфной фазы, количества нерудных и экзотических примесей.



### Кобальтомарганцевые корки (КМК)

*Условия локализации и особенности распространения КМК.* Кобальтомарганцевые корки по условиям локализации в преобладающем большинстве случаев относятся к рудным образованиям подводных гор. Морфологически рудные скопления данного типа выражены в виде тонкого (до 20 см) слоя (корки), бронирующего от 30% до 60% площадей вершинных областей и пологих (до 20°) участков склонов. В числе других благоприятствующих формированию рудных корок условий наиболее важное значение имеют глубины дна океана (600–2500 м), наличие в пределах указанного интервала глубин зоны кислородного минимума, наличие интенсивных течений со скоростями, препятствующими накоплению осадочного материала (10–30 см/с), преобладание в составе направленного к поверхности дна осадочного потока планктоногенного карбонатного материала.

Области развития рудных корок в Мировом океане распределены неравномерно (рис. 2), что в первую очередь связано с расположением контролирующей их пространственную позицию подводных гор. Наиболее широко эти рудные образования распространены в Тихом океане, где зафиксировано наибольшее количество как одиночных подводных гор, так и образующих архипелаги Лайн, Туамоту, Гавайский, Маркус–Неккер, Кука, Магеллановы горы, Маршалловы острова. Хотя достоверные оценки общих ресурсов руд этого типа еще не получены, по отдельным регионам имеются достаточно надежные данные, свидетельствующие, например, о том, что в экономической зоне Гавайского архипелага сосредоточено более 1 млрд т руды, в т. ч. 300 млн т марганца, 6 млн т никеля, 1 млн т меди и 10 млн т кобальта.

В Атлантическом и Индийском океанах ареалы развития рудных корок более ограничены по площади в сравнении с Тихим. Однако и здесь по предварительным оценкам речь может идти о ресурсах руд в сотни миллионов тонн. На части подводных гор и поднятий Атлантического океана рудные образования уже установлены (г. Грейт Метеор, поднятия Сьерра–Леоне,

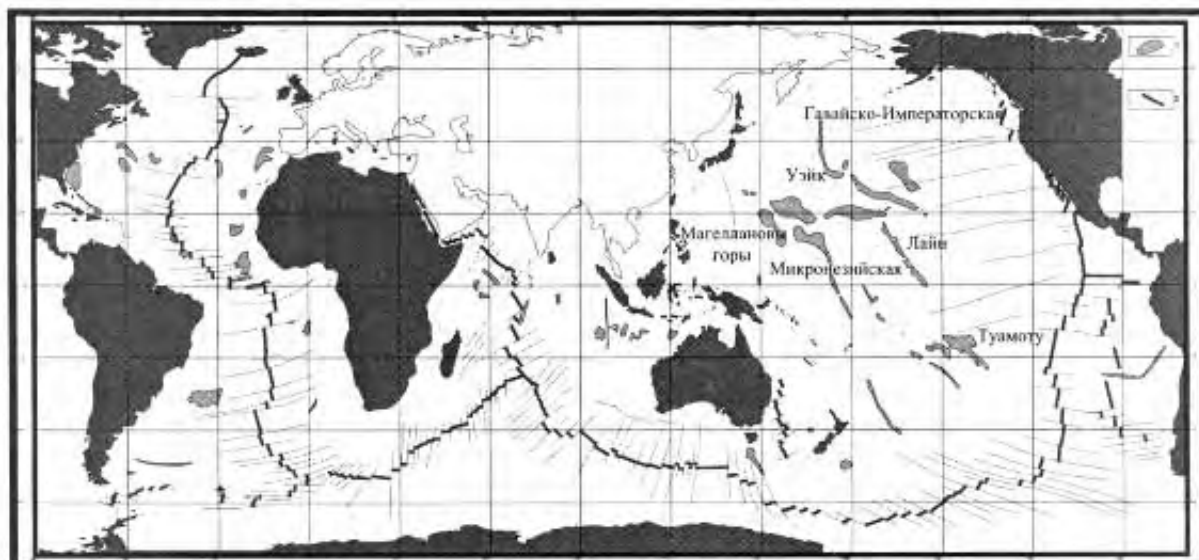


Рис. 2. Схема расположения рудных полей КМК:  
1 — рудные поля, 2 — разломы системы COX

Угловое, Сеара, горы Новой Англии). Часть других относятся к перспективным в этом отношении (хребет Китовый, поднятие Риу-Гранди).

То же самое можно сказать и об Индийском океане, где установлены (г. Экватор, хребет Брокен, Кокосовый вал, Амирантский хребет) или предполагаются (Мозамбикский хребет) скопления кобальтоносных железомарганцевых руд. Несмотря на преобладающий характер связи рудных корок с обстановками подводных гор вулканического происхождения, в океане известны еще два варианта условий их локализации. К первому относятся обстановки некоторых участков шельфа и континентального склона (плато Блейк в Атлантике), ко второму — условия абиссальных котловин, где корки пространственно ассоциируются с конкреционными железомарганцевыми образованиями. В последнем случае корки (в отличие от ЖМК, залегающих на рыхлых осадках) в локальном плане тяготеют к участкам дна, испытавшим эрозию, либо сложенным магматическими породами.

**Строение и состав.** Строение кобальтоносных корок определяется сочетанием макро- и микрослоистости слагающей рудной массы. Макрослоистость выражена в виде закономерного чередования слоев мощностью до первых сантиметров, отличающихся текстурой, цветом и составом. В наиболее полных разрезах корок подводных гор выделяется до трех макрослоев: нижний — темно-серый до черного, сложенный однородной рудной массой оксигидратов железа и марганца массивного сложения; промежуточный, представленный бурой карбонатно-фосфатной матрицей, густо пронизанной ориентированными перпендикулярно слоистости дендритовидными скоплениями рудного материала; верхний — рудный буровато-серый до черного, однородный.

Случаи неполных разрезов корок достаточно широко распространены, причем особенно часто отсутствуют промежуточный либо верхний слой, нередко — оба. Закономерный характер строения полных разрезов корок объясняется направленным изменением во времени фациальных условий локализации рудного вещества, связанным с известным процессом тектонической эволюции океанических плит: последовательным опусканием их (следовательно и рудоконтролирующих структур — подводных гор) на все большие глубины.

Рудные микрослои, являющиеся элементами внутренней структуры макрослоев, по текстурным характеристикам и мощности весьма напоминают аналогичные микрослои ЖМК. Вместе с тем в рудных корках отсутствуют микрослои, сложенные кристаллическими фазами рудных минералов. По этой причине для них характерны, в основном, столбчатая, слоистая и компактная текстуры.

Соответствующим образом упомянутое обстоятельство отражено и в особенностях минерального состава рудного вещества корок: это тонкодисперсная смесь рентгеноаморфных вернадита и гидрогетита. В составе нерудной части корок отмечается примерно тот же набор минералов, что и в ЖМК, но с добавлением заметных количеств кальцита и апатита (особенно в промежуточном макрослое).

Одной из главных особенностей химического состава корок является высокое содержание кобальта, в среднем в пределах 0,4–0,8%. Довольно распространенными являются и более высокие значения (1–2%). Высокие удельные концентрации рудных масс (при мощности корок 2–6 см плотность их залегания составляет 40–120 кг/м<sup>2</sup>) позволяют рассматривать их в качестве важного вида минерального сырья как на кобальт, так и другие металлы. Средние содержания варьируют в пределах: марганца 16–26%, никеля 0,4–0,6%, меди 0,1–0,3%, железа 14–20%.

### Металлоносные осадки

Металлоносные осадки (рудные илы) пользуются достаточно широким распространением в океане и, по крайней мере, в одном случае (впадина Атлантик II в Красном море) образуют экономически значимый рудный объект. Главная же роль металлоносных осадков при оценке характера океанского рудогенеза на данный момент состоит в том, что они являются прямыми индикаторами рудоносной гидротермальной активности океанского дна.

По общим характеристикам состава, строения и условий залегания металлоносные осадки мало отличаются от обычных пелагических илов, но выделяются на их фоне повышенным содержанием рудных компонентов, в первую очередь — марганца и железа. Строгая классификация металлоносных осадков до настоящего времени еще не разработана. Согласно наиболее распространенным представлениям к этому типу осадочных образований относятся разновидности пелагических илов, в составе которых либо суммарное содержание марганца и железа превышает 10%, либо содержание железа в пересчете на бескарбонатное (абиогенное) вещество превышает те же 10%.

Современные металлоносные осадки наиболее широко распространены в Тихом океане. Особенно это характерно для его юго-восточной части, где сплошным покровом этих образований занята площадь около 10 млн км<sup>2</sup>, охватывающая район Восточнотихоокеанского поднятия (ВТП) между 5° ю. ш. и 45° ю. ш. и прилегающие участки абиссальных котловин. Аналогичные, в виде сплошного покрова, но гораздо меньшей площади (более 2 млн км<sup>2</sup>) скопления металлоносных илов обнаружены в Индийском океане в районе тройственного сочленения спрединговых хребтов. Данные о наличии таких залежей в Атлантике отсутствуют. Относительно более многочисленные локальные скопления известны во всех трех океанах.

Современные металлоносные осадки выражены в виде поверхностных слоев мощностью от первых сантиметров до первых метров. Внешне это обычно темноокрашенные (от бурых до черных) полигенные илы, содержащие преимущественно рентгеноаморфные гидроксиды железа и марганца гидротермального генезиса. Реже обнаруживаются и кристаллические фазы таких минералов как тодорокит, бернессит, псиломелан, гетит, железистый



сметтит. Средние содержания некоторых рудных элементов в абиогенной части металлоносных осадков юго-восточной области Тихого океана и Индийского океана по данным А.П.Лисицина и др. приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средние содержания элементов в абиогенной части металлоносных осадков

Океан	Содержания							
	%		г/г					
	Fe	Mn	Ni	Cu	Co	Zn	Pb	Mo
Юго-восточная часть Тихого	16,86	5,07	826	1041	218	411	155	75
Индийский	11,85	2,47	356	588	155	281	167	105

### Глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС)

Постоянно возрастающая в объемах информация о сульфидном оруденении океанского дна в настоящее время практически однозначно указывает на тесную пространственную и генетическую связь рудных скоплений данного типа с тектонически и магматически активными областями ложа океанов. Наиболее ярко эта связь проявлена в пределах спрединговых центров практически всех океанов (рис. 3). Установлена достаточно отчетливая прямая корреляция между интенсивностью оруденения и скоростями спрединга соответствующих центров. Это обстоятельство обуславливает повышенную перспективность ВТП в отношении сульфидного оруденения, как наиболее высокоспредингового из всех известных центров. Такая точка зрения находит и практическое подтверждение: большинство из обнаруженных к настоящему времени сульфидных рудопроявлений тяготеют к ВТП.

Пространственное положение рудопроявлений в структурно-тектоническом плане спрединговых центров достаточно однотипно и в большинстве

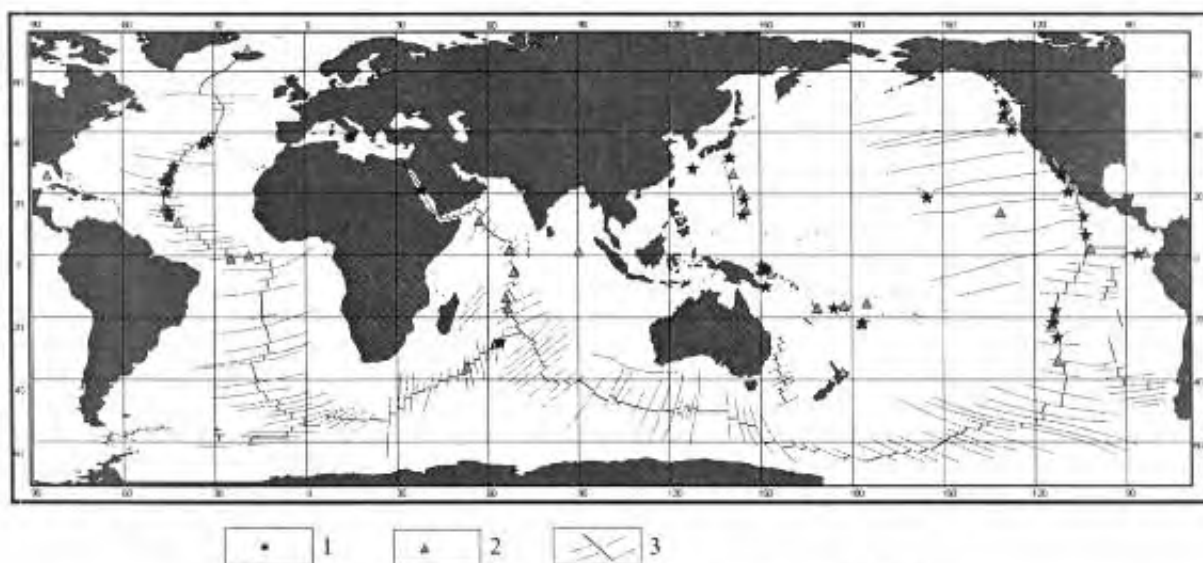


Рис. 3. Схема расположения рудопроявлений ГПС:

1 — массивного типа, 2 — вкрапленного и штокверкового типов, 3 — разломы системы COX

отвечает неовулканическим зонам осевых рифтовых долин срединно-океанических хребтов, что многими исследователями связывается с особенностями их формирования по схеме т. н. “рециклинга”. Согласно этой схеме гидротермальные растворы, являющиеся носителями рудных (Fe, Cu, Zn, Pb и др.) и нерудных ( $\text{SiO}_2$ ) компонентов, формируются за счет океанической воды, проникающей по трещинам в частично остывшей коре за пределами рифтовых долин на глубины верхних границ магматических очагов (сотни метров — первые километры), расположенных под долинами и питающих упоминавшиеся неовулканические зоны. Разогретые под воздействием вулканических очагов воды, приобретшие по этой причине повышенную химическую агрессивность, образуют восходящий поток, проецирующийся в пределы неовулканической зоны. По пути следования химически агрессивные гидротермы насыщаются за счет выщелачивания из вмещающих пород названными рудными и нерудными компонентами.

На участках выходов гидротерм, температура которых может достигать  $350^\circ\text{C}$ , на поверхность морского дна содержащиеся в них металлы вступают в соединение с серой морской воды, образуя сульфиды, которые, выпадая из раствора, и формируют рудные скопления. Частицы сульфидов, не успевшие осесть, образуют на участках выходов активных гидротерм своеобразные дымоподобные шлейфы типа грифонов, имеющие характерный для сульфидных выделений черный цвет. Скопления сульфидов морфологически представляют собой преимущественно конические постройки, диаметр основания которых колеблется от первых метров до 40–50 м, а высота составляет 3–30 м. Постройки располагаются в виде цепочек вдоль осевых грабенов рифтовых долин, тяготея как к их бортам, так и днищу.

В минералогическом отношении сульфидные постройки представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом с подчиненным количеством галенита и др. Агрегаты рудных минералов имеют массивную текстуру. Содержания металлов в валовом составе рудных масс достигают: цинка 65% (хр. Хуан де Фука), меди 30% (СОХ у  $11^\circ$  с. ш.), свинца 0,4%, серебра 1,5% (ВТП у  $21^\circ$  с. ш.), золота 7 г/т (Калифорнийский залив), платины 5 г/т. Ресурсы сульфидных руд, слагающих отдельные постройки средних размеров, составляют порядка 1 тыс. т. В некоторых рудоносных районах, как например в пределах Галапагосского центра спрединга, отмечались случаи группирования построек в более крупные тела, суммарные ресурсы которых оцениваются в 25 млн т руды.

В последние годы получены имеющие важное значение в плане оценки особенностей океанского рудогенеза в условиях внеспрединговых обстановок сведения о сплошном и вкрапленном сульфидном оруденении подводных гор и разломных зон. Массивные скопления сульфидов зафиксированы в виде плащеобразных тел на поверхности кальдерных и склоновых частей подводных гор, расположенных как вблизи, так и на значительном удалении от спрединговых центров. Минеральный состав массивных руд подводных гор имеет определенные отличия от такового руд осевых рифтовых зон: в нем существенно снижена роль сульфидов цинка. Существуют данные об обогащенности этих руд кобальтом, содержание которого достигает 1%.

Ресурсы руд отдельных рудных залежей могут составлять первые миллионы тонн.

Перспективы вкрапленных руд разломных зон, как минерального сырья, на сегодняшний день достаточно неопределенны. Тем не менее уже сейчас можно говорить о весьма широкой распространенности их в океанах. Оценена и специализация этих руд: преобладающим типом их является медноколчеданный.

Таким образом, накопленные с середины прошлого века сведения о металлоносной минерализации океанского дна достигли к настоящему времени такого уровня, который позволяет достаточно уверенно судить о практической значимости уже выявленных или предполагаемых рудных скоплений. К числу потенциальных месторождений рудного сырья уже на современном этапе могут быть отнесены донно-поверхностные скопления окисных и сульфидных руд с высокой полиметаллической минерализацией. В более отдаленной перспективе следует ожидать расширение круга глубоководных рудных месторождений за счет подповерхностных массивных и вкрапленных сульфидов. Вещественно-генетические особенности перечисленных месторождений определяются структурно-тектоническими и фаціальными условиями их локализации.

1. *Annual Report 1997 of the Southampton Oceanography Centre.*— University of Southampton, Waterfront Campus, Empress Dock Southampton SO14 3ZH, United Kingdom.

2. *International Seabed Authority aims to approve Mining Code.*— <http://www.isa.org.jm/meeting/19970814background.htm>.

3. *Italian Antarctic Research Programme (National Programme of Research in Antarctica).*— <http://www.inra.ge.cnr.it/PROGETTI/pura-en.html>.

4. *Le projet New Starmer (1994-1999) est une continuation du projet STARMER pour l'étude comparative des rides actives dans les bassins marginaux comme les bassins de Manus, Woodlark, North Fiji, Lau et Havre.*— <http://www.ifremer.fr/drogm/Gm/Program/index.html>.

5. *Lithosphere Formation in Mid-Oceanic Ridges and Back-Arc Basins: Geological Studies in the Equatorial Atlantic and Tyrrhenian Sea (Italian research project).*— [http://albatros.igm.bo.cnr.it/igmdocs/projects/fullstra\\_en.html](http://albatros.igm.bo.cnr.it/igmdocs/projects/fullstra_en.html).

6. *Manganese Nodules of the Cook Islands.*— <http://www.mmr.gov.ck>.

7. *Marine Acoustics in Sweden: Current and future projects.*— [http://lthgt.tg.lth.se/coe/coe\\_lth.html](http://lthgt.tg.lth.se/coe/coe_lth.html).

8. *Marine Geodynamics: The OBH Project.*— [http://www.geomar.de/sci\\_dpmt/umwelt/](http://www.geomar.de/sci_dpmt/umwelt/).

9. *Marine geological research at the Geological Survey of Finland (GSF).*— <http://www.gsf.fi/marine.html>.

10. *Mast Program of the European Union.*— [http://www.geomar.de/sci\\_dpmt/umwelt/](http://www.geomar.de/sci_dpmt/umwelt/).

11. *Mast-III Marine Science and Technology Programme.*— <http://europa.eu.int/comm/dj12/marine/mast3-al.html>.

12. *Munoz A., Palomo C., Acosta J., Pardo de Domlebum M.* Hydrographic and Oceanographic Programme for the Spanish EEZ // EEZ Technology. A review of Advanced Technologies for the Management of EEZ World-Wide.— ICG Publishing Ltd.— London, UK, 1998.— P. 71–75.

13. *Projet International: ODP (Ocean Drilling Program).*— <http://www.ifremer.fr/drogm/Gm/Program/index.html>.



14. *Projet: Zee* (Zone Economique Exclusive française). — <http://www.ifremer.fr/drogm/Gm/Program/index.html>.

15. *Soukissian T.H.* Operational Oceanography Towards 2000 // EEZ Technology. A review of Advanced Technologies for the Management of EEZ World-Wide. — ICG Publishing Ltd. — London, UK, 1998. — P. 79–83.

16. *To promote* and improve the understanding of the origin, distribution, mining, processing, development, and economic assessment of mineral deposits within the province of the global ocean. — <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/imms/imms.HTML>.

Розглянуто проблеми, пов'язані з металургійним потенціалом Світового океану. Показана необхідність підготовки до їх освоєння як альтернативного джерела сировини, в першу чергу стратегічно важливих металів.

The problem concerning preparation to the World Ocean deposits of polymetal nodules bringing into the industrial production, are considered.

УДК 341.123:341.225.5:(339.94:553.31'32)J(260)

**Р. Котлиньски<sup>1</sup>**

## **ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВМЕСТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ “ИНТЕРОКЕАНМЕТАЛЛ” В СИСТЕМЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ОРГАНА ПО МОРСКОМУ ДНУ ООН**

*Отражена деятельность совместной организации Интерокеанметалл по поиску, разведке и подготовке к промышленному освоению месторождений железомарганцевых конкреций Тихого океана.*

Освоение минеральных ресурсов Мирового океана, наряду с традиционными видами природного сырья, стало важным направлением хозяйственной деятельности.

Межправительственное Соглашение о создании совместной организации Интерокеанметалл (ИОМ) для проведения работ по поискам, разведке и подготовке к промышленному освоению железомарганцевых конкреций (ЖМК) было подписано рядом восточноевропейских государств, к которым примкнула и Куба, в Москве 27 апреля 1987 года. В настоящее время участниками указанного Соглашения являются Болгария, Куба, Польша, Россия, Чехия и Словакия. Штаб-квартира ИОМ находится в Щецине, Республика Польша.

---

© Р. Котлиньски<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Щецинский университет.