

УДК 553.04:551.462](260)

А.П. Зиборов¹, Г.Н. Орловский¹

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНКРЕЦИЙ

Новизна задач, стоящих перед разработчиками технических средств освоения месторождений полиметаллических конкреций, при неопределенности информации и множестве различных представлений как об объекте разработки, так и о внешней среде, в которой этот объект должен функционировать, диктует необходимость ограничить возможные направления работ. При создании любого объекта в качестве отправной точки должна стать геоэкологическая модель конкретного месторождения — формализованный в определенной степени вариант внешней среды, в которой он должен функционировать.

Учитывая предсказываемый международными экспертами к середине XXI в. дефицит в обеспечении цветной металлургии сырьем из месторождений суши [1–3], мировое сообщество в последние десятилетия провело огромную работу по изучению участков морского дна, потенциально богатых металлоносными ресурсами.

Было доказано, что открытые в XIX–XX вв. геологами в Мировом океане месторождения полиметаллических конкреций (ПМК), кобальт-марганцевых корок (КМК) и полиметаллических сульфидов (ПМС) могут удовлетворять постоянно растущий мировой спрос на Mn, Ni, Co, Mo, в меньшей степени — на Cu, Y, Au и редкоземельные элементы на сотни — тысячи лет.

Разведанные месторождения ПМК, представляющие коммерческую ценность, в последней четверти прошлого века уже разделены между странами-претендентами в рамках правил Международного органа по морскому дну (МОМД) и Конвенции ООН по морскому праву (1982 г.) и рассматриваются в настоящее время как наиболее подготовленные к освоению. Страны-заявители участков с начала XXI в. приступили к работам по подготовке к промышленному освоению выделенных участков в рамках 15-летних контрактов с МОМД.

Геологи, создав и освоив современные технические средства разведки: — установили, что залежи, представляющие коммерческий интерес, расположены в международных водах Мирового океана на значительном удалении от береговых баз на глубинах 5–7 км;

— выполнили на оценочной стадии картографирование предполагаемых районов промышленной добычи с определением границ и размеров рудных тел (карты в масштабе 1:200 000–1:100 000);

© А.П. Зиборов¹, Г.Н. Орловский¹.

² Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины.

— изучили физико-механические свойства конкреций и вмещающих пород донного массива в основном на законсервированных образцах в условиях лабораторий на суше;

— изучили на оценочной стадии геоэкологические условия предполагаемого региона проведения добычных работ;

доказали, что:

ПМК — реальный альтернативный источник получения стратегически важных металлов в обозримом будущем;

проблема освоения металлоносного сырья в Мировом океане, несмотря на всю ее сложность и капиталоемкость, при современном уровне развития науки и техники разрешима;

предприятие может быть рентабельным только в том случае, когда выбранные параметры технологического оборудования и способ отработки забоя (месторождения) соответствуют геологическим и экологическим условиям осваиваемого конкретного месторождения;

ориентировочно определили основные эксплуатационные показатели морского горного предприятия (МГП) и единичного комплекса технологического оборудования.

Работы по подготовке к промышленному освоению конкретного подводного месторождения на начальном этапе, представляется, должны включать:

формирование концепции производства на базе детальной геоэкологической и технологической изученности месторождения, рассматривая процесс от геоэкологического обеспечения горных работ до получения товарного продукта определенного (заданного) качества, как единый технологический комплекс;

разработку возможных вариантов технического оснащения МГП (на этапе технического предложения);

разработку экологически щадящих технологических схем использования предлагаемого оборудования;

оценку основных показателей назначения МГП в увязке с предполагаемым техническим оснащением горного производства;

выбор варианта (вариантов) пилотного образца комплекса (комплексов);

разработку концепции его (их) создания.

В настоящее время решению задач, связанных с созданием МГП по добыче конкреций и его техническому оснащению, почти всегда сопутствуют проблемы неопределенности, связанные с достижением нескольких целей, важность и весомость которых, особенно на начальном этапе, определить довольно затруднительно.

Возникли проблемы:

- перед геологами — подготовить морские полигоны (полигон) на конкретном месторождении с целью апробации пилотных образцов технологического оборудования для опытной и опытно-промышленной добычи;

- перед горняками — начать добывать в промышленных масштабах конкреции, разработав и внедрив необходимые экологически щадящие технологии;

- перед машиностроителями — создать и освоить соответствующие новым горнотехническим условиям и технологиям технические средства;
- перед металлургами — освоить новый, нетрадиционный для промышленности вид минерального сырья, выделив из него максимально возможное количество полезных компонентов.

И решить эти задачи мировым сообществом предполагается к началу третьего десятилетия текущего века — планируемому началу коммерческой добычи.

Вроде бы цели определены. Но... ни один из способов, используемых на месторождениях суши для добычи руды, не применим при освоении месторождений океанического дна, что уже практически доказано проведенными в конце прошлого века исследованиями. Также не применимы известные методы обогащения и металлургического передела для переработки добытого сырья.

Таким образом, речь идет о создании уже в обозримом будущем на базе морских месторождений минерального сырья нового вида горнометаллургического производства, а также технологий и обеспечивающих их внедрение технических средств, базовых прототипов которых еще не существует, так же как и не существует прошлого опыта эксплуатации подобных месторождений и технологического оборудования.

Освоение месторождений в океане ставит перед наукой и техникой принципиально те же задачи, которые приходится решать на суше, но специфика внешней среды и горнотехнических условий требует иного подхода, применения других способов и средств, времени, а также вложения значительных средств.

Технология производства горных работ на суше или в морских условиях, в сущности, одинакова и включает следующие основные операции: рыхление (при необходимости) массива забоя и забор горной массы; перемещение ее к месту переработки (передела); передел (обогащение, металлургическая переработка); утилизацию отходов во всех звеньях производственного цикла, естественно, при щадящем отношении к экосреде; поставку сырья (концентрата, промпродукта, готовой продукции) определенного качества на рынок (потребителю).

Основа производственного процесса предприятия по добыче конкреций — морской горнометаллургический комплекс (МГМК) (подробно см. [1]). Разработка донного забоя осуществляется плавающим добычным комплексом (ПДК) — головным звеном МГМК, — оснащенным установленным на плавсредстве технологическим оборудованием, которое обеспечивает: последовательное выполнение операций от сбора ПМК в забое на глубине 5–7 км до погрузки промпродукта (концентрата) в транспортные суда; получение промпродукта (концентрата) определенного качества; утилизацию отходов (хвостов), получаемых в цикле “добыча-погрузка” при щадящем отношении к экосреде региона проведения добычных работ.

Отсюда следует, что конструктивно-технологические параметры ПДК должны быть взаимоувязаны с основными эксплуатационными характеристиками МГМК (производительностью, режимом работы, ремонтной

базой, возможностями технического обслуживания и т.п.); технологическими схемами ведения горных работ, геоэкологическими и горнотехническими условиями месторождения, а также с последующим звеном общей технологической цепи МГМК — транспортными судами с учетом их технических и технологических возможностей по приемке больших объемов горной массы в открытом океане.

Месторождения ПМК по используемой в настоящее время классификации в горном деле ближе всего к категории россыпных с плотностной характеристикой полезного компонента (во влажной массе) $q = (5-10) - (15-30) \text{ кг/м}^2$ при средней плотности по участку $9,4 \text{ кг/м}^2$ [1].

ПМК залегают в поверхностном слое илистых осадков с несущей способностью $>7 \text{ кПа}$; конкрециеносный слой — $100-150 \text{ мм}$; конкреции представляют собой сфероподобные образования (размер длиной оси от $1-2$ до $10-15 \text{ см}$ и более; средний размер $3-7 \text{ см}$). Таким образом, забой представляет собой перемещающуюся поверхность обнажения донного массива, на которой уже произведен сбор конкреций. Способ выемки определяют приемы отделения (сбора) конкреций в забое.

Рельеф дна пологохолмистый с размерами равнинных участков дна $100 \pm 200 \text{ км}^2$. На 70% площади участка преобладающие углы наклона элементов рельефа менее 5° . Участки дна с наклонами более 10° составляют до 11% всей площади. Границы между рудными телами представлены обрывами, крутыми склонами, выходами плотных пород осадочного чехла и базальтов фундамента и т.п. Глубина залегания месторождений (глубина воды) — $5-7 \text{ км}$. Наличие переменных по направлению придонных течений.

В последнее время не только научное, но и прикладное значение приобрела проблема погребенных конкреций. По предварительным данным количество захороненных, притопленных и присыпанных конкреций составляет значительную долю их общего количества (не менее 40%) и, естественно, они также могут представить коммерческий интерес. Глубина захоронения составляет в основном $20-40 \text{ см}$ от поверхности осадков [4]. Районы морского дна, где встречены погребенные конкреции, характеризуются довольно расчлененным рельефом и являются сейсмически активными. Существуют также некоторые отличия погребенных и поверхностных конкреций и вмещающих их осадков по минеральному составу. Разработка захороненных конкрециеносных горизонтов расширяет перспективные к освоению площади морского дна. Но их добыча представляется экологически более опасной, поскольку донные осадки будут нарушаться добычной техникой минимум на $0,5 \text{ м}$ в глубину, что приведет к уничтожению значительной части глубоководного бентоса [5]. Кроме того, для их извлечения необходимо специальное оборудование (машины), способное обрабатывать забой на глубину до 1 м (исходя из представлений сегодняшнего дня) от поверхности донного массива. При этом возможно увеличение как количества взвеси в процессе отработки забоя, так и объема хвостов на борту плавсредства, что, несомненно, усугубит проблему их утилизации и потребует новых решений по минимизации ущерба экосистеме. Способ укладки хвостов в выработанное пространство определяет технологию их укладки.

В то же время донные отложения — не только пространство, в котором в полупогружном или погребенном состоянии расположены конкреции, но и среда и условия существования различных форм органической жизни, т.е. своего рода локальная геоэкосистема — единый установившийся природный комплекс, сложившееся веками естественное равновесие которого, естественно, будет нарушено при проведении добычных работ.

Вопрос в том, в какой мере и как эту среду защищать или сохранять с минимумом ущерба? Для этого необходимо знать на какие базовые характеристики локальной экосреды региона воздействуют проводимые горные работы; измерить эти характеристики; знать пределы негативного воздействия с тем, чтобы сохранить возможность адаптации; создать аппаратурно-технические комплексы, обеспечивающие контроль.

Основными компонентами конкреций являются оксиды железа, марганца и кремнезема, но наиболее важными при экономической оценке признаны никель, медь, кобальт, марганец, молибден и цинк.

Специфика горно-геологических и экологических условий залегания месторождений ПМК вызывает необходимость индивидуального подхода к выбору конструктивно-технологических параметров ПДК, способам отработки забоя и укладки хвостов в зависимости от условий конкретного месторождения (инженерной геологии, характеристик экосреды, рельефа дна, течений, карт значений плотностных и площадных характеристик залегания ПМК и т.п.).

Обеспечение эксплуатационной производительности в конкретных горно-геологических условиях за определенный интервал времени — основное требование, предъявляемое к ПДК. Но, как показал проведенный анализ (подробно см. [1]) с учетом многообразия факторов, определяющих величину этой производительности, и их случайного проявления, величина ее может изменяться в довольно широком диапазоне. Поэтому представляется целесообразным, особенно при создании и сравнении основных эксплуатационных характеристик вариантов пилотных образцов, ввести понятие паспортных (расчетных) значений базовых характеристик, определяемых с помощью аналитических зависимостей для выемочной единицы (забоя) заданных параметров. Значения полученных расчетных величин могут быть использованы при сравнительной оценке конкурентоспособных вариантов пилотных образцов ПДК (МГМК в целом). Следует также учитывать, что подтвержденных практикой критериев, определяющих эффективность МГП, нет. Следовательно, в любом случае необходимо формировать базовые отправные точки (данные), которые могут рассматриваться в качестве исходных для всех предлагаемых технических и технологических вариантов машин и оборудования и к расчету их основных показателей применительно к конкретному месторождению конкреций.

Поэтому конструктивно кинематические параметры ПДК должны быть определены и взаимоувязаны по возможности точно на начальной стадии проработки, т.к. от них зависит и облик ПДК, и основные эксплуатационные характеристики МГМК, а, следовательно, и конкурентоспособность рассматриваемого варианта. При таком подходе в период освоения и

испытаний пилотного образца, естественно, проявится определенное несоответствие расчетных и фактически полученных показателей. Но это неизбежный этап при создании любых принципиально новых технологий и технических средств. Однако при предлагаемом подходе и при наличии базовых исходных данных решать возникающие проблемы будет, несомненно, проще.

Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых невозможно без выбора оптимальных технологических и конструктивных параметров оборудования для конкретных горно-геологических и горно-технических условий. Месторождения минерального сырья в Мировом океане не составляют в этом плане исключения.

Морское месторождение — чрезвычайно сложный и многогранный объект, подготовка которого к промышленному освоению требует значительных материальных и финансовых ресурсов, продолжительного времени и привлечения разного профиля специалистов. Нельзя также не учитывать новизну задач, стоящих перед разработчиками, и повышенную степень риска освоения подводных, особенно глубоководных, месторождений в условиях неполноты и в какой-то мере неоднозначности информации при практически полном отсутствии прошлого опыта, который в горном промысле играет немаловажную роль. В связи с этим возникает необходимость при создании МГМК не только связать воедино усилия специалистов различного профиля, но и объединить множество различных представлений (мнений) об объекте и способах его освоения для нахождения наиболее адекватных решений.

Поэтому представляется, что основное назначение начального этапа подготовки к промышленному освоению месторождений ПМК должно состоять в том, чтобы ограничить и конкретизировать возможные направления работ по созданию МГМК, определить (выделить) те главные составляющие, которые имеют принципиальное значение и сосредоточить на их решении основное внимание и ресурсы. Это позволит обосновать критерии, используя которые можно будет из множества предлагаемых в настоящее время способов освоения и конструктивно-кинематических схем МГМК в целом и основных его составляющих выбрать наиболее оптимальные (рациональные) с учетом последних достижений науки и техники в этой сфере.

Основой для такой работы может и должна служить геоэкологическая модель конкретного месторождения, как в определенной степени формализованный и систематизированный вариант прогнозируемых горнотехнических, геологических, океанологических и экологических условий, в которых должен функционировать комплекс (рис. 1). Назначение ее — служить обобщенным выражением знаний, накопленных по конкретному месторождению геологами, экологами, океанологами и др. специалистами на время начала работ по подготовке к промышленному освоению и техническому оснащению, разработке технологий и оборудования, решению вопросов экологической безопасности и т.п. Иными словами, она может и должна служить своего рода отправной точкой для начала работ по созданию ПДК, МГМК, оценке эксплуатационных характеристик и экономических показателей МПП.

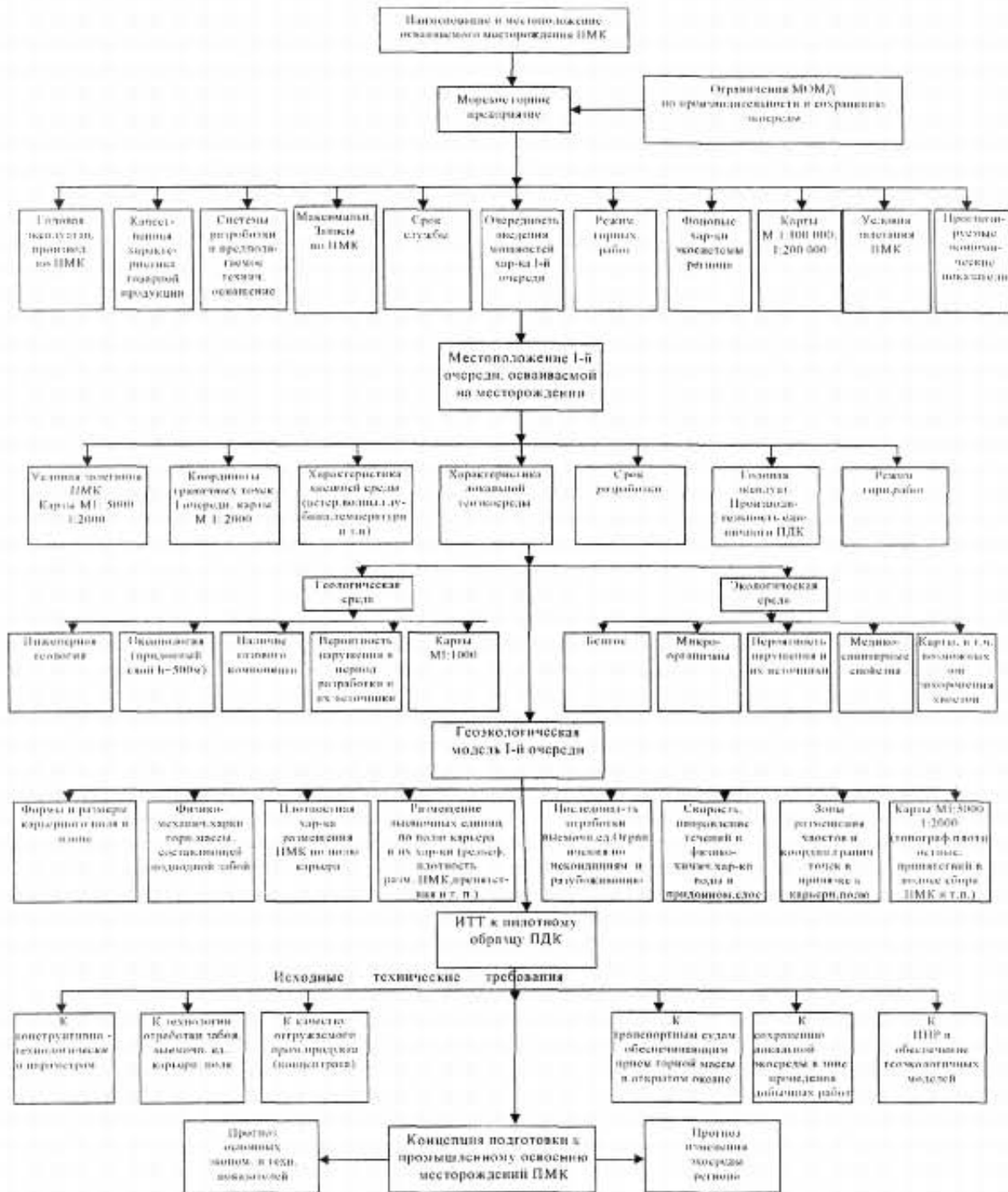


Рис. 1. Процесс подготовки к промышленному освоению месторождений ПМК

Несмотря на всю сложность такого комплекса, как МГМК, и неоднозначность информации о внешних условиях, в которых он должен функционировать, можно выделить, приступая к разработке, конечное число функций, решение которых наиболее существенно для достижения конечной цели.

На базе геоэкологической модели (рис. 2):
 рассчитываются основные эксплуатационно-технические параметры комплексов (различные варианты);

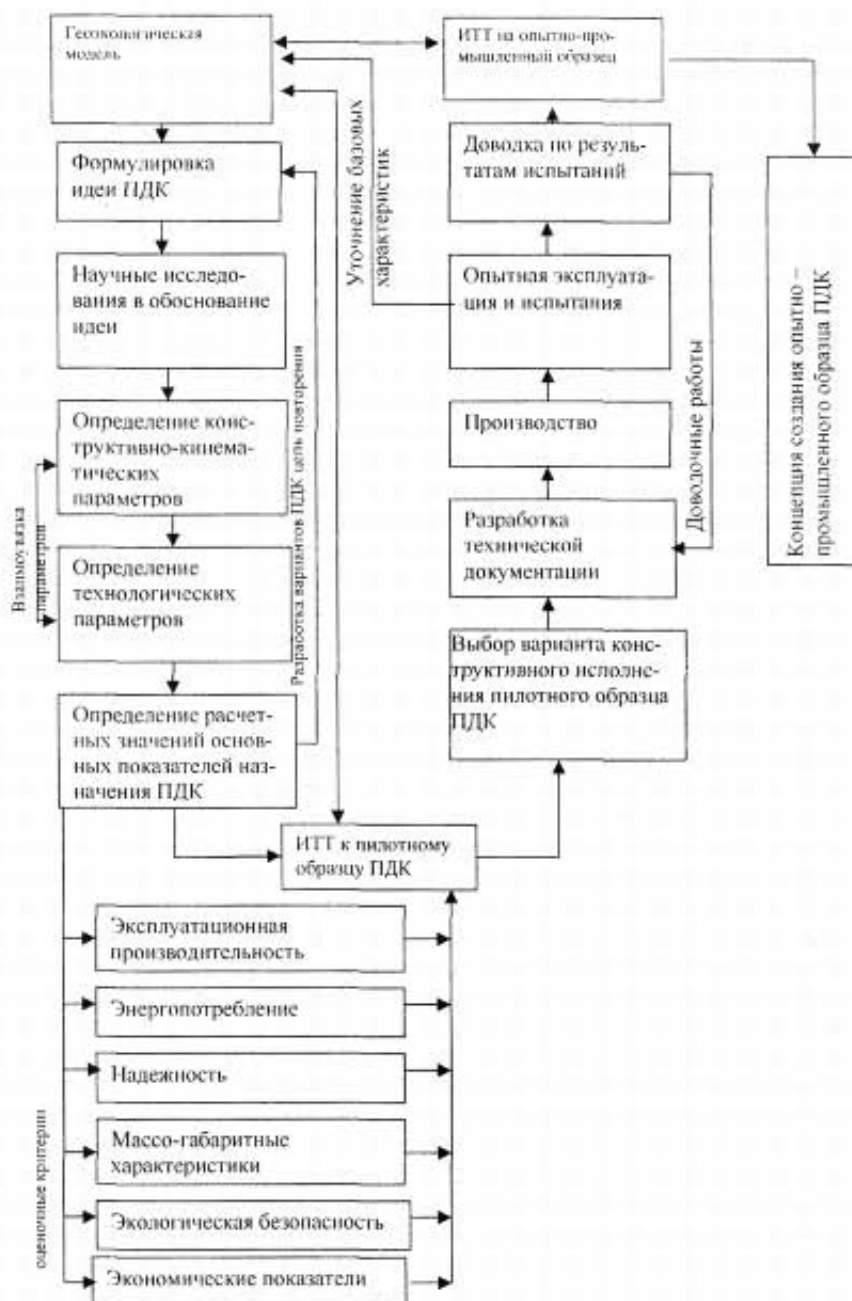


Рис. 2. Процесс подготовки технических средств добычи для промышленного освоения месторождений ПМК с использованием геозокологической модели

разрабатываются технологические схемы их использования;
 составляются оценочные карты (масштаб 1-500; ... 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10 000 определяется исходя из поставленных задач), позволяющие дифференцировать (территориально) месторождение по геозокологическим признакам, которые принимаются за основу при разработке технологического оборудования и по которым определяется пригодность участка для промышленного освоения;

составляется прогнозная карта, которая отражает возможные изменения экосистемы региона в результате освоения месторождения; на ее

основе разрабатываются рекомендации по возможному захоронению хвостов и охране локальной экосреды;

определяются (укрупненно): массогабаритные характеристики технологического оборудования, необходимое его энергообеспечение; экономические и др. показатели;

разрабатываются базовые критерии, определяющие эффективность технических и технологических решений, предлагаемых для освоения рассматриваемого месторождения;

производится экспертная оценка предлагаемых способов освоения и вариантов технического оснащения;

выбирается наиболее предпочтительный (конкурентоспособный) вариант (варианты) для дальнейшей проработки;

уточняются параметры принятого (принятых) к дальнейшей разработке пилотного (опытно-промышленного) образца, обосновываются основные этапы его (их) создания;

разрабатывается концепция подготовки промышленного освоения конкретного месторождения ПМК и его технического оснащения.

Глубина предварительного изучения геоэкологических условий конкретного месторождения ПМК должна быть достаточной для построения корректной его модели, которая принимается за основу при конструкторских и технологических проработках. Принятая к исполнению модель может в дальнейшем корректироваться (при необходимости) только по результатам детальной разведки или эксперимента, при проведении которого разработчики комплекса специально проводят целенаправленное изменение внешней среды, имитирующее в период эксплуатации ПДК ту или иную возможную форс-мажорную ситуацию или антропогенное воздействие на экосреду региона. В дальнейшем, сочетая моделирование и эксперимент, уточняя параметры пилотного образца, эта модель должна стать основой для разработки исходных технических требований на создание опытно-промышленного образца МГМК.

Предшествующее началу проектных работ такого рода геоэкологическое обеспечение позволит предметно подойти на начальной стадии к выбору параметров ПДК и МГМК в целом, к расчету основных эксплуатационных характеристик и их оптимизации, к выбору варианта (вариантов) технологического оборудования для дальнейшей проработки, а также повысить качество и конкурентоспособность разработок и свести к минимуму непроизводительные затраты на этапе подготовительных работ.

Новизна предлагаемого подхода заключается в том, что он дает возможность производить оценку основных производственно-технических показателей различных конструктивно-кинематических схем комплексов и технологий их использования, сравнивать по сопоставимым характеристикам варианты и выбирать наиболее приемлемые к рассматриваемому конкретному месторождению в основном на бумаге.

Как известно, это наименее капиталоемкий путь к достижению конечной цели — определению параметров пилотного образца, принимаемого к производству, и к оценке перспектив развития МГП при эффективной организации выполнения работ, обеспечивающих комплексную механизацию

основных и вспомогательных процессов с оптимальными параметрами оборудования и минимальным технически достижимым риском их протекания.

1. Железомарганцевые конкреции Индийского океана / Е.Ф. Шнюков, Г.Н. Орловский, С.А. Клещенко, В.П. Резник, А.П. Зиборов, А.А. Щипцов. — К.: ОМГОР НАНУ. — 2001. — 329 с.

2. The Proceedings of The Fourth (2001) ISOPE OCEAN MINING SYMPOSIUM, Szczecin, Poland, 2001. — 189 s.

3. Р. Котлиньски. Деятельность совместной организации “ИНТЕРОКЕАНМЕТАЛЛ” в системе Международного органа по морскому дну. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2005. — № 1. — С. 28–34.

4. Пилипчук М.Ф. Проблемы происхождения и поиска захороненных полиметаллических конкреций в Мировом океане. 2-я Международная конференция и выставка по разработке новых технических средств и технологий для работ на шельфе и в Мировом океане. Тезисы. Геленджик, НИПИОкеангеофизика, 2001. — С. 361–365.

5. Пилипчук М.Ф. Экологические проблемы добычи захороненных полиметаллических конкреций в Мировом океане. 2-я Международная конференция и выставка по разработке новых технических средств и технологий для работ на шельфе и в Мировом океане. Тезисы. Геленджик, НИПИОкеангеофизика, 2001. — С. 365–366.

Новизна завдань, що стоять перед розробниками технічних засобів освоєння родовищ поліметалевих конкрецій, при невизначеності інформації та безлічі різних уявлень як про об'єкт розробки, так і про зовнішнє середовище, в якому цей об'єкт повинен функціонувати, диктує необхідність обмежити можливі напрями робіт. При створенні будь-якого об'єкту відправною точкою має стати геоекологічна модель конкретного родовища — формалізований певною мірою варіант зовнішнього середовища, в якому він повинен функціонувати.

Novelty of the engineering problems of technical means being developed for polymetal nodules exploitation, at the vagueness of information and great number of different presentations, both about the object of development, and an external environment which this object must function in, dictates a necessity to limit possible directions of works. When creating any object, a geoeological model of concrete deposit can be used as a starting point.