



В. П. Дробаденко
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ).



Н. Г. Малухин
Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ).

Освоение шельфовых и глубоководных месторождений — перспектива расширения сырьевой базы России

В настоящее время многими учеными и специалистами обосновано и доказано, что освоение шельфа и океанического глубоководного дна является одним из наиболее перспективных направлений разработки месторождений полезных ископаемых. Все промышленно развитые страны занимаются решением проблем освоения ресурсов Мирового океана.

Шельф Российской Федерации является самым обширным в мире по площади. Его ширина достигает местами 1200 км. Более того, шельфы моря Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей исключительно мелководны. Глубины здесь ограничены первыми десятками метров.

Советские, а затем российские научные и производственные организации внесли существенный вклад в изучение геологического строения и минерально-сырьевых ресурсов дна Мирового океана, что позволило России активно участвовать в разработке Конвенции по морскому праву, принимать участие в работе МОД ООН, избираться в его руководящие структуры и получить по конвенционному режиму право на участок морского дна в Тихом океане площадью 75 тыс. км² с месторождением железомарганцевых конкреций. Помимо этого, Россия является участником совместной организации «Интерокеанметалл» (Болгария, Польша, Россия, Чехия, Словакия), которой также в зоне Кларифон-Клиппертон выделен участок с месторождением ЖМК.

Надо отметить, весьма неравномерное распределение минерально-сырьевых ресурсов океанского дна в зонах особых интересов основных стран, под которыми понимаются их 200-мильные экономические зоны и площади в пределах Международного района морского дна, изучаемые с целью последующего оформления своих прав на разведку и промышленное освоение выявленных минеральных ресурсов. При этом значительные преимущества (за счет площадей экономических зон) получили основные государства – владельцы прибрежных и островных территорий.

Если шельф продолжается за пределы 200-мильной зоны, то минеральные ресурсы на дне может добывать только данное прибрежное государство. Поэтому установление настоящей границы шельфа – серьезная экономическая задача, так как и в настоящее время, и в будущем он представляет собой кладовые минеральных ресурсов. Прежде всего это относится к Арктике, где на шельфе, кроме уже обнаруженных запасов углеводородов, под водами Северного Ледовитого океана находятся месторождения алмазов, олова, марганца, золота, никеля, свинца и платины. Для России оказалась очень важной поправка к Конвенции ООН по морскому праву, которая утверждает, что к шельфу отнесены

и подводные возвышенности, начинающиеся на самом шельфе. Это относится к открытым еще советскими экспедициями хребтам Ломоносова и Менделеева, которые пересекают Северный Ледовитый океан от России до Канады через Северный полюс и тянутся в направлении Гренландии.

На них претендуют еще три государства – Норвегия, США и Канада. Российские ученые собирают доказательства того, что эти горы являются частью Сибирской континентальной платформы, и если ООН признает этот факт, то у России появится возможность осваивать огромные ресурсы подводных минеральных отложений.

Главными и наиболее распространенными полезными ископаемыми из тех, что выявлены к настоящему времени в глубоководных районах Мирового океана, считаются железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобаль-

Наиболее распространенными полезными ископаемыми из тех, что выявлены к настоящему времени в глубоководных районах Мирового океана, считаются железомарганцевые конкреции.

томарганцевые корки (КМК), глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС), которые точнее называть глубоководными колчеданными рудами (ГКР), и фосфориты. В конкрециях, корках, колчеданных рудах и фосфоритах содержится значительное количество Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Ag, Au, Pb и P, в них также присутствуют Pt, Cd, редкоземельные элементы и другие полезные компоненты.

Специалистами для освоения глубоководных минерально-сырьевых ресурсов дна Мирового океана предлагаются различные океанические технологические комплексы. Они обычно состоят из добычного судна и технических средств для добычи полезных ископаемых и предназначены для выполнения трех технологических операций: сбора твердых полезных ископаемых (ТПИ) со дна океана, подъема на борт добычного судна и предварительного обогащения с последующей транспортировкой на сушу.

В настоящее время используются три инженерных подхода к разработке аппаратурной цепи технических средств добычи железомарганцевых конкреций, которые различаются по методу их подъема на поверхность

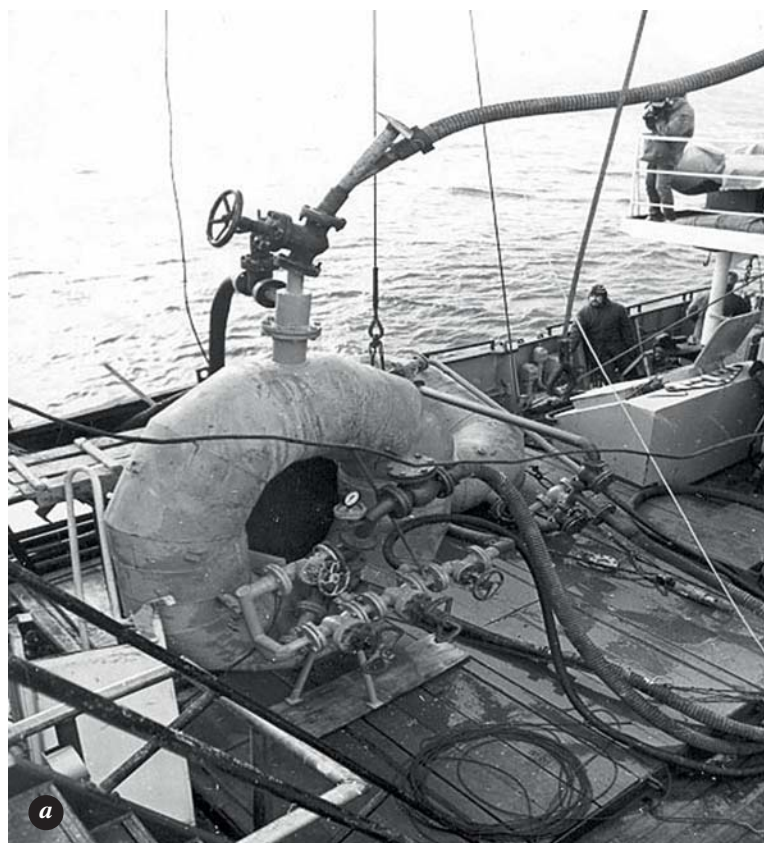


Рис. 1.
 Морские испытания загрузочно-обменного аппарата с использованием энергии закрученных струй на НИС «Полигон» в акватории Черного моря (г. Новороссийск):

а – палубная загрузочно-обменная емкость торообразной формы;
б – донная загрузочно-обменная емкость

океана; гидравлический комплекс, использующий гидравлический подъем твердых материалов по транспортному трубопроводу от агрегата сбора на судно, конвейерная многоковшовая землечерпаковая и челноковая (автономная) системы. В последнее десятилетие в докладе Подготовительной комиссии для Международного органа ООН по морскому дну и Международного трибунала по морскому праву один из трех основных принципов конвейерной многоковшовой землечерпаковой системы был признан неэффективным из-за низкой производительности, а другой (челночной системы) – техникой второго поколения. По мнению авторов данной работы, наиболее перспективным и технически реализуемым комплексом на современном этапе можно считать комплекс технологического оборудования на базе гидравлической системы подъема.

По оценкам экспертов, затраты на систему транспортировки ТПИ могут составить почти половину затрат на весь добычный комплекс. Также очевидно, что самые сложные технические проблемы возникают именно при

создании протяженных и мощных подъемных коммуникаций.

Подъем – один из наиболее важных процессов в технологии переработки морских месторождений. Он, как правило, определяет не только целесообразность отработки того или иного месторождения, но и технологию добычных работ и экономическую эффективность всего предприятия в целом. При этом решающим, с точки зрения возможности осуществления промышленной добычи ТПИ является вопрос влияния проводимых горных работ на окружающую среду. Основной же экологической проблемой, связанной с технологией подъема ТПИ на поверхность, выступает воздействие на экосистему пелагиали, сбрасываемой в океанические толщи отработанной воды, насыщенной донными осадками и переизмельченным материалом железомарганцевых конкреций.

При всех известных достоинствах эрлифтного трубопроводного гидроподъема его реализация осложняется использованием специальных мероприятий по очистке отработанной технологической воды от

дисперсных частиц, предназначенной к сбросу на глубины 200–500 м после прохождения на плавсредстве сложной системы извлечения полезных компонентов.

Судя по результатам зарубежных исследований, грунтонасосному подъему свойственны следующие технологические недостатки:

- относительно невысокое содержание твердого материала в гидросмеси, транспортируемой с глубины на борт судна, определяет небольшую производительность по железомарганцевым конкрециям и соответственно высокую энергоемкость всей технологии;
- ограниченность развиваемого давления на одну ступень требует применения многоступенчатых насосных агрегатов и потому понижает надежность всей технологии;
- абразивность транспортируемых гидросмесей вызывает частый выход из строя различных деталей грунтонасосов, замена которых требует каждый раз подъема и демонтажа оборудования и трубного става;
- высокая степень переизмельчения конкреций при прохождении через рабочие колеса и проточные части многоступенчатых грунтонасосов способствует значительному усложнению процесса обогащения на борту судна, и увеличивает потери ценных компонентов при сливе и загрязненность морской воды.
- недостаточная экологическая защита – при сливе отработанного технологического раствора даже до глубины 1000 м возможно загрязнение морских вод твердыми дисперсными частицами, соединениями тяжелых металлов, биогенными элементами, а также материалами, обладающими токсическими свойствами (в частности, техническими маслами).

По этой причине технология выемки и особенно способы подъема и укладки пустых пород после отделения их от полезного ископаемого влияют не только на экономическую, но и на экологическую целесообразность разработки месторождений дна морей и океанов.

Более перспективным, с точки зрения эффективности и безопасности для окружающей среды, по нашему мнению, можно считать способ трубопроводного гидроподъема твердых полезных ископаемых с использованием загрузочных аппаратов, работающих совместно с высоконапорными водяными насосами. Такие системы, как показывает опыт их эксплуатации при наземном гидро-транспортировании и шахтном подъеме, при

достаточно значительном коэффициенте полезного действия способны обеспечить высокие плотности образуемой и доставляемой гидросмеси, позволяют практически исключить абразивный износ движущихся и проточных частей насосного оборудования, не требуют предварительного дробления транспортируемого материала и не способствуют его переизмельчению в процессе перекачивания. Использование для гидроподъема загрузочных аппаратов устраняет необходимость устройства перекачных станций и повышает надежность и экономичность работы транспортной системы в целом.

Примерами подобных транспортных глубоководных морских систем являются ап-

Системы трубопроводного гидроподъема способны обеспечить высокие плотности гидросмеси и позволяют практически исключить абразивный износ частей насосного оборудования.

параты, предложенные фирмами Японии и Германии.

Загрузочный аппарат для глубоководного гидроподъема, работающий на принципе взаимодействия закрученного кольцевого потока воды с твердым материалом (эффект искусственного смерча), был разработан в Московском геологоразведочном институте. Новизна этого способа и конструкций подтверждена патентами России, США, Австралии и других стран.

Морские испытания системы подъема с такими аппаратами проводились сотрудниками РГГРУ (МГРИ) совместно с ЦКБ «Океангеотехника» и Черноморской опытно-методической экспедицией и подтвердили работоспособность и эффективность предложенных конструкций подъемного устройства. Для проведения эксперимента были использованы железомарганцевые конкреции, собранные экспедициями Южморгеологии в центральной части Тихого океана.

Испытательный комплекс системы гидроподъема размещался на борту научно-исследовательского судна «Полигон» и включал две загрузочно-обменные емкости, два водяных насоса НБ-32, трубопроводные коммуникации с запорной арматурой, измерительный участок с расходомером, плотномером и перепадамером (рис. 1).

Технологическая схема морских испытаний заключалась в загрузке одной из емкостей железомарганцевыми конкрециями и напорной подаче гидросмеси по замкнутой схеме: палубная емкость – пульпопровод – подводная емкость – и обратно по замкнутому циклу. Таким образом осуществлялся непрерывный процесс гидроподъема с глубины до 100 м. Диаметр фрагментов конкреций составлял от 5 до 25 мм. Средние значения плотности транспортируемой гидросмеси изменялись от 1260 до 1396 кг/м³ (консистенция 38–65 %) в зависимости от конструктивных параметров аппарата. Производительность по твердому составляла в среднем 7,2 т/ч.

На основе этих морских испытаний была предложена технология добычных работ,

Отличительной особенностью предложенного способа добычи является структура технологического оборудования с использованием кинетической энергии закрученного потока воды.

которая включала специальный комплекс технических средств с самоходными или буксируемыми агрегатами сбора железомарганцевых конкреций, трубопроводную систему подъема с загрузочными аппаратами вихревого пульпоприготовления, в том числе для перегрузки конкреций с добычного на транспортное судно.

Их отличительной особенностью является единая структура технологического оборудования с принципом действия, основанным на использовании кинетической энергии закрученного потока воды. При этом если для грунтонасосной системы подъема необходимо проектирование и изготовление агрегата и всей станции в погружном исполнении, то в разработанном варианте используются серийно выпускаемые высоконапорные водяные насосы типа ЦНС, ЦНСГ и др. Они могут размещаться либо на борту добычного судна, либо на полупогружной платформе, на которой согласно технологической схеме устанавливаются загрузочно–обменные емкости с рабочими коммуникациями (рис.2). Платформа при этом соединена с добычным судном посредством транспортных трубопроводов, системы тросов и кабелей. Для исключения влияния морфологии дна на условия

эксплуатации оборудования платформа устанавливается значительно выше забоя.

Полезное ископаемое от агрегата сбора в загрузочно–обменные емкости может подаваться либо в виде гидросмеси по гибким трубопроводам, либо механическим способом в виде отдельных конкреций, поступающих сначала в приемный бункер–накопитель, соединенный с камерой поворотным затвором. Камеры загрузочного аппарата, кроме подъема гидросмеси на поверхность, выполняют функции сгустителей в придонном слое океана за счет замещаемой технологической воды, содержащей основную часть вмещающего тонкодисперсного материала.

Таким образом, по трубопроводу на плавсредство могут поступать уже в определенной степени отмытые железомарганцевые конкреции, что в свою очередь упростит процесс обогащения и значительно уменьшит сброс загрязненной твердыми частицами воды за борт судна (в выработанное пространство).

Другим немаловажным преимуществом предлагаемого варианта гидроподъема является реализация наиболее эффективного способа укладки пустых пород, которая осуществляется при сливе технологической воды в придонном слое, то есть в выработанном пространстве. Это также значительно повышает экологическую сохранность водной среды при разработке месторождений дна морей и океанов, тогда как при эрлифтном и грунтонасосном подъеме весь сброс предполагается осуществлять на глубину 800–1500 м от водной поверхности.

Сотрудники РГГРУ (МГРИ) также участвовали в разработке алмазосодержащих гравийно–галечно–песчаных подводных отложений.

На шельфе Намибии в 2004 г. работали несколько алмазодобывающих судов, переоборудованных на базе военных крейсеров. На одном из них (фирмы Samikor) проводились испытания эрлифтного грунтозаборного устройства, разработанного сотрудниками Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе, новизна которого подтверждена патентом РФ (рис. 3).

Корабль был снабжен двумя эрлифтными установками с диаметром пульпоподъемного трубопровода 500 мм, которые расположены на разных его бортах. Одна из них оснащена «традиционным» грунтозаборным устройством,

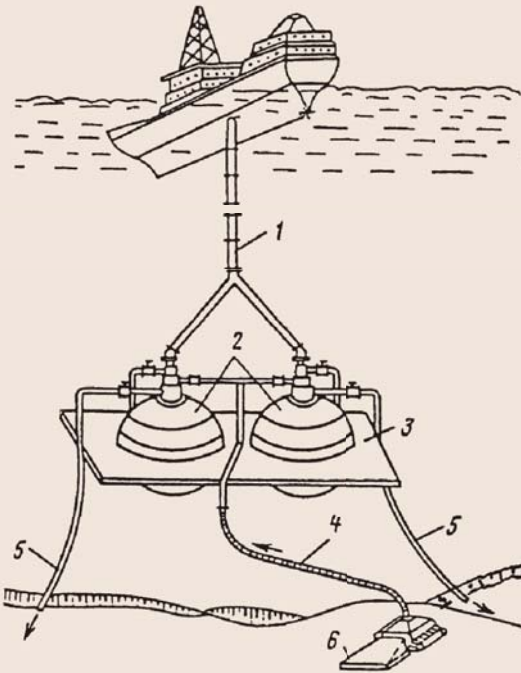


Рис. 2.
Принципиальная схема гидроподъема полезных ископаемых. Морской добычной комплекс с системой гидроподъема;

- 1 – система магистральных трубопроводов (водовода и пульповода);
- 2 – загрузочные аппараты;
- 3 – полупогружная платформа;
- 4 – трубопровод придонного транспорта ЖМК от агрегата сбора;
- 5 – трубопроводы слива технологической воды в выработанное пространство;
- 6 – агрегат сбора ЖМК.



Рис. 3.
Грунтозаборное устройство конструкции РГРУ

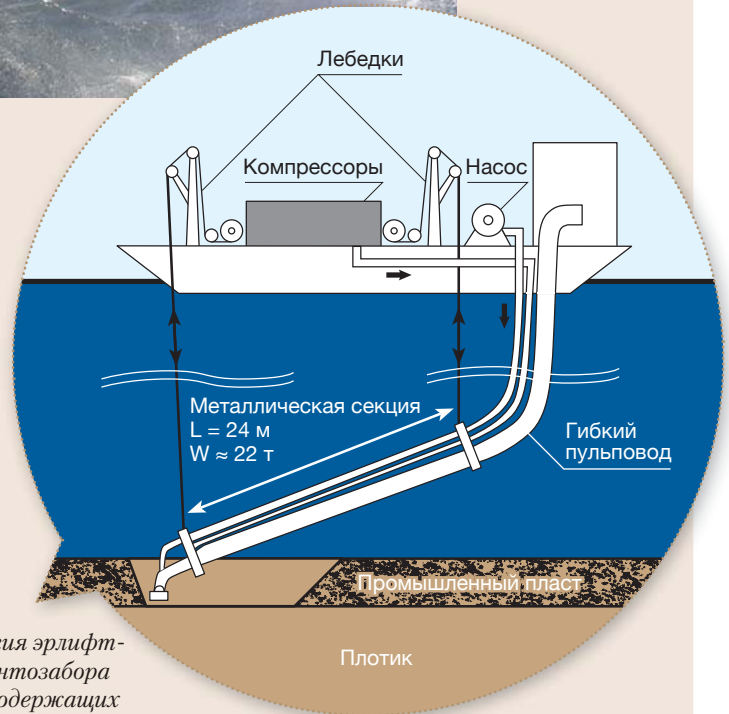


Рис. 4.
Технология эрлифтного грунтозабора алмазосодержащих галечно-гравийно-песчаных отложений.

применяющимся на судне несколько лет. Другая установка – опытным грунтозаборным устройством нового типа с маятниковым фартуком и предварительным гидровзвешиванием добываемых рыхлых пород.

Грунтозаборное устройство жестко связано с металлической эрлифтной трубой длиной 24 м и общим весом около 22 т. Далее гидро-смесь поступает на судно по резиновым толстостенным (около 600 мм) шлангам внутренним диаметром 500 мм.

Металлическая эрлифтная труба подвешена на двух тросах бортовых кранов – манипуляторов. Передний трос – носовой закреплен у грунтозаборного устройства, задний – кормовой – у фланца соединен с резиновой подъемной трубой. Расстояние между

кранами-манипуляторами составляет около 20 м (рис.4).

В рабочем положении эрлифтная металлическая секция расположена к плоскости донных алмазосодержащих отложений под углом, который изменяется в пределах 20÷700. Непосредственно технология грунтозабора и всасывания оценивается оператором по количеству горной массы, поступающей на грохот первичного обогащения.

Манипулирование натяжением носового и кормового тросов производится оператором в зависимости от конструкции грунтозаборного устройства, а также состава донных отложений то есть могут быть выбраны различные схемы и скорость перемещения грунтозаборного устройства.

Технические данные нового грунтозаборного устройства, конструкция РГГРУ

Таблица 1

Характеристики	Показатели
Производительность эрлифта по гидросмеси, м ³ /ч	2500±300w
Диаметр эрлифтной трубы, мм	500
Максимальная глубина отработки, м	100
Гидрорыхление:	
подача Q _р , м ³ /ч	450
напор у насадок, м вод. ст.	60
количество насадок, шт.	4
Зона контакта водогрунтозаборника с забоем:	
длина, м	2,1
ширина, м	0,5
площадь, м ²	1,0
Размер решетки в горловине всасывающего оголовка на свету, мм	180 x 200
Угол поворота водогрунтозаборника относительно всасывающего оголовка с конфузуром, град.	±25
Скорость потока (при расходе Q_{сум} = 2800 м³/ч), м/с:	
в решетчатой горловине всасывающего оголовка	2,7
в пульповоде D _у = 500 мм	4,0
Масса водогрунтоприемника, кг	2070 (2090)

РГГРУ снабжена контактирующей с забоем качающейся рамой, предотвращающей доступ излишней воды в эрлифт и имеющей в нижней части полуцилиндрические всасывающие каналы.

Новое всасывающее грунтозаборное устройство конструктивно представляет собой раструб шириной по забою 2 м, имеет восемь окон размером 180 x 220 мм, общей площадью в 1,47 раз превышающей поперечное сечение 500 мм подъемного трубопровода эрлифта (табл. 1). Однако, принципиальные отличия заключаются в том, что его конструкция снабжена контактирующей с забоем качающейся рамой, предотвращающей доступ излишней воды в эрлифт и имеющей в нижней части ряд полуцилиндрических всасывающих каналов, равномерно распределенных по всему периметру рамы.

Кроме того, на внешней поверхности рамы установлены зубья для механического рыхления, которые смещены в горизонтальной плоскости друг относительно друга.

Для гидрорыхления крупнозернистого материала имеются четыре напорные насадки с напором 0,6 МПа.

Результаты приведенных испытаний, основанных на различных экспертных оценках производительности эрлифта с новым грунтозаборным устройством, показали увеличение часовой производительности по твердому в среднем более в два раза; продолжительность (стабильность подачи) высокой часовой производительности по горной массе составляет ~ 67% против 12% у существующей конструкции.

Таким образом, РГГРУ (МГРИ) в течение нескольких десятилетий проводит научно-технические работы, связанные с разработкой новых концепций подхода к гидродинамике двух-трехфазных смесей для освоения подводных отложений дна морей и океанов. Однако, до настоящего времени, в отличие от иностранных государств, в нашей стране нет прошедшей морские испытания техники и технологии глубоководных горно-разведочных работ, хотя многими отечественными научно-исследовательскими институтами и проектными организациями выполнен предельно большой объем исследовательских работ в этом направлении.

Кроме того, особую значимость для обеспечения конкурентоспособности нашего государства при решении этой проблемы приобретает кадровый вопрос – подготовка и формирование высокопрофессионального специалиста. Для реализации образовательной программы по освоению шельфовых и глубоководных месторождений кафедра геотехнологии и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых РГГРУ ведет подготовку горных инженеров по специализации «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых на морском дне».

В итоге подготовка специалистов для создания новых технологий и технических средств, позволяющих эффективно осваивать шельф и глубоководные отложения океана, восполняющие дефицит минерально-сырьевых ресурсов страны, полностью соответствуют задачам ФЦП «Мировой океан», согласно которой должна осуществляться подготовка минерально-сырьевого потенциала к промышленному освоению 2020 г. в Международном районе морского дна. 