

**А.М. Гальперин, Ю.В. Кириченко, М.В. Щёкина,
А.С. Каширский, И.И. Якупов**

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
МОРСКОГО ДНА В РАЗРАБОТКУ
Ч. 1. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ
МИРОВОГО ОКЕАНА**

Рассмотрена необходимость в самое ближайшее время развития геологоразведочных работ и разработки месторождений твердых полезных ископаемых Мирового океана. Приведены данные о химическом составе, распространении и запасах основных рудных провинций в Мировом океане, приведены сведения об истории обнаружения, условиях образования и темпах роста железоманганцевых конкреций. Ключевые слова: минерально-сырьевые ресурсы мирового океана; железоманганцевые конкреции; ферромагнитные корки; редкоземельные элементы; рудоносная провинция; скорость образования конкреций.

Прогнозируемое падение спроса на энергоресурсы, вследствие перехода экономик развитых стран мира на использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии (солнечной, ветровой, приливной, геотермальной, биотопливо, сланцевый газ и др.), использования энергосберегающих технологий ставят перед Россией в ближайшем будущем трудноразрешаемые экономические задачи. Объемы продаж энергоносителей (в первую очередь нефти и газа), выручка от которых в значительной степени формирует бюджет нашей страны, будут снижаться. Следовательно, необходимо уже сейчас осваивать добычу тех видов минеральных ресурсов, спрос на которые не падает, а даже растет. В первую очередь – это редкоземельные элементы (РЗЭ), выпуск высокотехнологической продукции и развитие новых технологий без которых, невозможен. Это относится и к микроэлектронной промышленности, и к атомной, и к оптической, и к нанотехнологиям

в целом. Редкоземельные элементы (редкоземельные металлы (РЗМ) одно время активно извлекались из монацитосодержащих россыпей во многих странах, в том числе в Индии, Бразилии, США, Египте, Австралии, СССР и т.п. Однако, начиная с 60-х гг. прошлого века, поставки РЗЭ из Китая стали более экономически выгодными и добыча в других странах практически прекратилась. Рост цен, сокращение экспортных поставок из Китая и возросший спрос на РЗЭ возродили тенденцию к увеличению добычи монацитов, однако ряд проблем, в том числе и экологического характера, не позволяет покрывать спрос на РЗЭ современной промышленности. В настоящее время монополистом по добычи РЗЭ является Китай, который добывал в этом столетии от 100 до 130 тыс. т редкоземельных элементов, что составило до 98% мировой добычи [1–4]. Более точных и достоверных данных по добыче Китаем РЗЭ в последние 2–3 года в открытой печати обнаружить не удалось, однако потребность

в этом сырье растет и составляет в мире порядка 200 тыс. т и в ближайšie 5–7 лет может достичь 250 тыс. т. К редкоземельным элементам относятся: скандий (Sc), иттрий (Y), лантан (La) и целая группа лантаноидов – празеодим (Pr), неодим (Nd), самарий (Sm), европий (Eu), гадолиний (Gd), тербий (Tb), диспрозий (Dy), торий (Th) и др.

Отсутствие сколько-нибудь значительных месторождений РЗЭ на суше может быть компенсировано довольно высокой концентрацией их в железомарганцевых конкрециях (ЖМК) и ферромагнитных корках (КМК) – до $0,5 \div 0,7$ кг/т [3,5–9]. Конкреции и корки являются уникальными образованиями. Нет на суше даже приблизительно наличия столь богатых руд. Проблема их генезиса (происхождения) до сих пор вызывает жаростные споры ведущих геологов всего мира. Скорость их образования по различным данным различается в сотни и миллионы раз.

Открытые комплексной океанологической экспедицией на судне «Чел-

ленджер» 18.02.1873 г. при проведении драгирования около Канарских островов железомарганцевые конкреции поначалу не привлекли сколько-нибудь значительного внимания с практической точки зрения. В то же время уже первые анализы конкреций показали высокое содержание в них никеля, меди и кобальта. Последующие океанологические исследования позволили к середине прошлого века сделать вывод о глобальном характере железомарганцевого оруденения дна Мирового океана. Железомарганцевые корки также были открыты экспедицией на «Челленджере» на подводных поднятиях и впоследствии были выделены в самостоятельный морфологический тип.

Принято разделять гидрогенные медленно растущие кобальтоносные корки и быстрорастущие гидротермальные бедные кобальтом. Однако и те и другие обоснованно относятся к рудным образованиям дна Мирового океана. К ним также можно отнести металлоносные и рудные осадки, мас-

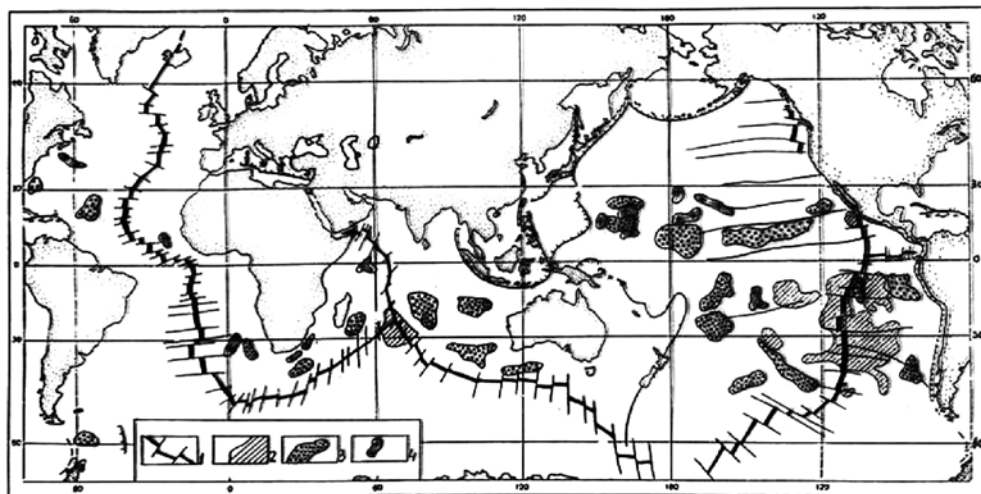


Рис. 1. Схема распространения металлоносных осадков, ЖМК и кобальтоносных корок в Мировом океане (Составлено с использованием материалов С. Андреева, Б. Батурина, Е. Гурвича, А. Лисицына и др.) 1 – рифтовая зона СОХ; 2 – области распространения металлоносных осадков; 3 – крупнейшие провинции ЖМК; 4 – районы распространения кобальтоносных корок на подводных горах

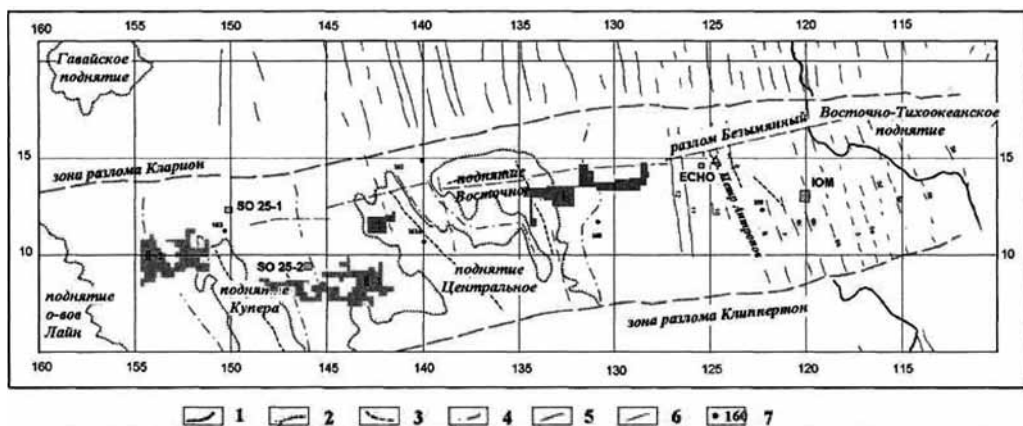


Рис. 2. Общая структура дна рудной провинции Кларин-Клиппертон: 1, 2 – границы структур; 1 – подножье склона ВТП; 2 – региональные поднятия дна; 3, 4 – оси региональных структур: 3 – поднятий, 4 – депрессий; 5 – разломы; 6 – оси палеомагнитных аномалий; 7 – скважины DSDP. Контуром показаны участки детальных исследований I – Российский район; II-1 – Китайский Восточный район; II-2 – Китайский Западный район

сивные сульфиды и гидротермальные железомарганцевые корки. Имеются зафиксированные сведения об осаждении гидроксидов железа и алюминия из гидротерм подводных вулканов. Металлоносные осадки наиболее распространены в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах (рис. 1).

Железомарганцевые конкреции дна Мирового океана максимально сосредоточены в нескольких рудных полях с неравномерным распространением. На некоторых участках конкреции покрывают свыше 50% площади дна, что можно классифицировать как отдельные месторождения. Больше всего конкреций сосредоточено в центре Тихого океана между широтными разломами Кларин и Клиппертон вдоль экватора на тысячи километров. Химический состав конкреций весьма разнообразен, но в общем случае в них присутствуют практически все элементы таблицы Менделеева. Руды Кларин-Клиппертон представлены срастаниями гидроксидов марганца и железа в виде лепешек, охристых пластов, корок, иногда шарообразных обособлений

диаметром от долей миллиметра до десятков сантиметров.

Конкрециеносная провинция Кларин-Клиппертон расположена в северной приэкваториальной области Северо-восточной котловины Тихого океана между 7° и 18° с. ш. в глубоководной впадине, протяженностью около 4,7 тыс. км и шириной около 1,1 тыс. км. На севере и на юге она ограничена зонами глубинных разломов Кларин и Клиппертон, на востоке – хребтом Математиков, на западе – центральной частью поднятия островов Лайн.

Основными морфоструктурными элементами дна рудоносной провинции Кларин-Клиппертон служат ложе глубоководной котловины и западный склон Восточно-Тихоокеанского поднятия. В средней части провинции находятся Восточное и Центральное поднятия, на западе – поднятие Купера, между ними расположены впадины (рис. 2). Глубина океана более 5000 м.

Конкреции приурочены к горизонтальным и слабонаклонным поверхностям, покрытым иллитовыми глинами. ЖМК образуют поле шириной

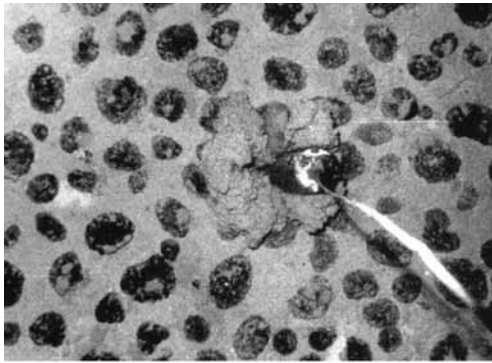


Рис. 3. Фотография морского дна с конкрециями (диаметр до 7–12 см)

300–700 км, длиной более 3500 км с наиболее продуктивными скоплениями в осевой части полосы вдоль разлома Безымянный. С запада на восток четко прослеживается рост обогащенности конкреций марганцем, никелем и медью, а также плотность залегания ЖМК и продуктивность площадей (рис. 3).

Решениями Международного комитета по морскому дну выделены участки для разведки и добычи ЖМК

нескольким странам, в том числе и России (рис. 4).

Железомарганцевые конкреции имеют концентрически-слоистое строение, что свидетельствует о последовательном нарастании слоев различного состава и структуры, и сложены слабокристаллизованными гидроксидами железа и марганца (Fe_2O_3 и MnO) [5–10].

Необходимо отметить, что все виды ЖМК из различных океанов характеризуются наличием ядер в виде обломков пород более древнего времени или биогенными остатками (например, зубы рыб). Конкреции представляют собой агрегат рудных и нерудных минералов, причем нерудная составляющая (кварц, полевой шпат, базальт, органические остатки и т.п.) сосредоточена, в основном, в ядрах.

Химический состав конкреций весьма разнообразен, для ЖМК Мирового океана содержания колеблются (%): железо – 0,3–50,0; марганец – 0,07–50,3; никель – 0,08–2,48; медь – 0,003–1,9; кобальт – 0,001–2,53;

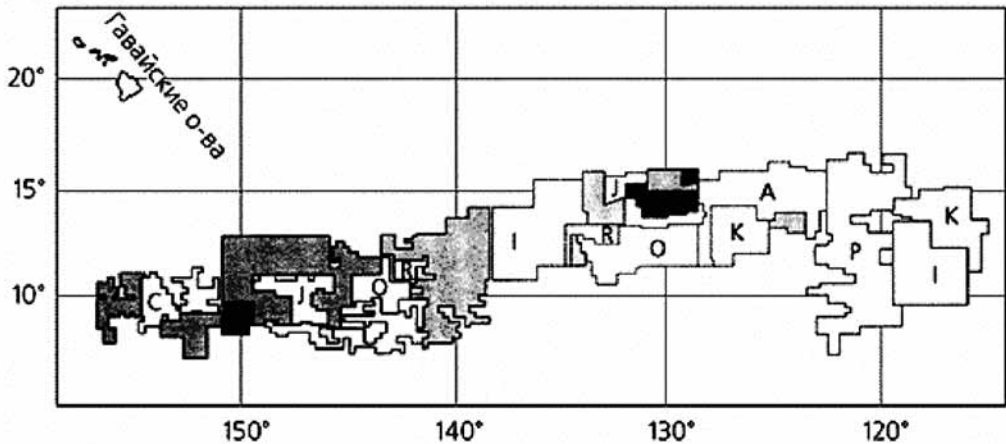


Рис. 4. Распределение заявленных участков на разработку железомарганцевых конкреций в зоне Клариян-Клиппертон: А – Ocean Mining Assoc.(международный консорциум); J – Ocean Management Inc. (Япония); O – Ocean Minerals Co.(США); К – Kennecott Consort (Канада); I – Ocean Mining Inc. (международный консорциум); С – COMRA (Китай) R – Южморгеология (Россия), P – InterOCEAN Metal (бывшие страны СЭВ); черным цветом показаны участки французской ассоциации AFERNOD, серым – резервные площади Международного органа по морскому дну

цинк – 0,01–9,0; свинец – 0,01–0,75. Средний состав конкреций Тихого океана (%): марганец – 24; железо – 14; кремний – 9,4; алюминий – 2,9; натрий – 2,6; калий – 1,9; магний – 1,7; никель – 0,99; кальций – 0,18; титан – 0,67; медь – 0,52; кобальт – 0,35; барит – 0,18; свинец – 0,09; стронций – 0,081; цирконий – 0,063; ванадий – 0,054; молибден – 0,052 [5–9].

Изучение конкреций как российскими, так и зарубежными учеными позволяют с достаточной долей уверенности утверждать связь процессов формирования конкреций с вулканизмом и поствулканическими гидротермальными процессами, наличие многочисленных биоморфных остатков в ЖМК свидетельствуют также об участии организмов в осаждении рудного вещества, а концентрированная зональность в распределении рудных элементов отражает действие процессов диагенеза.

Как отмечалось выше, скорость образования конкреций при таких процессах должна быть весьма невелика – около 1 мм за миллион лет. Однако современные исследования и случаи обнаружения конкреций с ядрами более позднего времени позволили сделать вывод о более быстром росте ЖМК – от 1 мм за тысячу лет и выше. Ученые Физико-технического института РАН из Санкт-Петербурга Г.С.Ануфриев и Б.С.Болтенков утверждают в своих исследованиях, что высокая скорость роста конкреций связана с космической пылью. Космическая пыль оседала на ледяном панцире океанов во время последнего оледенения, а при таянии попадала в воду. Именно поэтому концентрации металлов в ЖМК близки концентрациям в железных метеоритах, а нахождение конкреций в достаточно молодых донных отложениях и сосредоточенность самых богатых руд

вдоль экватора подтверждают эту гипотезу. То есть осажденная космическая пыль сорбировалась из ила железомарганцевыми минералами и формировала конкреции и корки [11]. Частично это подтверждает и отсутствие никеля, кобальта, платины в ЖМК Ледовитого океана и у берегов Антарктиды. Однако это лишь одна из гипотез образования конкреций. Имеются сведения о получении в лабораторных условиях конкреций диаметром 5–8 см в течение года.

Первоначально оценки скорости роста ЖМК были сделаны на основе применения изотопа ^{224}Ra , содержащегося в обломках раковин, находящихся внутри конкреций. Используя этот метод, Петерсон (Peterson, 1943) получил скорость роста около 1 мм за 1000 лет (0,001 мм/год). Бутар и Хутерман (Butar and Houtermans, 1950) 0,6–1,3 мм за 1000 лет, а Голдберг (Goldberg, 1961) – 1 мм за 100 000 лет. Применение палеонтологических данных (датировка по содержащимся в ядрах конкреций зубам акул и другим органическим остаткам) дало сопоставимые результаты, поскольку данные таких же радиометрических анализов лежат в основе датировки органических остатков. В то же время, благодаря редким уникальным находкам, появилась возможность измерить скорости роста конкреций не косвенно (через палеонтологическое датирование или явление радиоактивного распада), а напрямую: в процессе изучения донных отложений были найдены конкреции, образованные на осколках снарядов Первой и Второй мировых войн (Goldberg and Arrenius, 1958; Меро, 1967). В этих случаях скорость роста конкреций измерялась величинами от 0,6 до 1 мм в год, что на 3–5 порядков выше скоростей, полученных косвенным путем. Работами российских геологов в Балтийском море были выявлены

конкреции, наросшие на болте из нержавеющей стали или на пробке от бутылки финского пива «Karjala» (В.А. Жамойда, А.Г. Григорьев, 2005). В искусственных водоемах Алтайского края установлены скорости роста ЖМК не менее 1,7–1,8 мм/год. В Карельских озерах на многих предметах, попавших в воду в годы войны 1939–1940 гг., обнаружены железистые образования, формировавшиеся со скоростью до 5 см за 8–9 лет. В лабораторных условиях железобактерии формируют микроконкреции в течение нескольких недель (Шербов, Страховенко, 2006). При этом надо отметить, именно прямые методы расчетов указывают на значительные скорости роста ЖМК; косвенные радиометрические и палеонтологические методы существенно занижают эти параметры, что происходит вследствие завышения оцениваемого возраста конкреций. Из этого следует, что «абсолютная» геохронологическая шкала, построенная на радиоизотопном датировании не отражает реального возраста отложения и завышает его на несколько порядков. Это приводит не только к неправильной реконструкции геологической истории нашей планеты, но и к ошибкам в экономической оценке месторождений: новые данные позволяют предположить, что месторождения ЖМК являются динамичными и возобновляемыми ресурсами, которые могут образовываться или восстанавливаться после отработки на протяжении достаточно короткого времени. В мелководных бассейнах (шельфовые зоны, заливы, мелководные равнины и т.п.) скорость роста конкреций также весьма высока. По расчетам специалистам (Winterhalter and Sivola, 1967; Suess and Djatazi, 1977; Hlawatsch, 1993; В.А. Жамойда, А.Г. Григорьев, 2005) скорость образования железомарганцевого материала может достигать



Рис. 5. Железомарганцевые конкреции лепешковидной, бобовой и шаровидной форм

до 0,3 мм/год при средней 0,15 мм. В отдельных случаях при наличии активной восстановительной зоны в придонной системе при условии постоянного перемещения материала между ней и окислительной зоной скорость может быть и выше. Следовательно, выявление таких зон позволяет управлять процессом образования ЖМК созданием искусственных ядер на специально оборудованных плантациях (техногенных месторождениях). В Финском заливе регенерация залежей ЖМК может произойти за 20–80 лет. Вероятно, что единой скорости роста ЖМК для всего Мирового океана в целом не существует, и в каждом конкретном случае она зависит от содержания основных конкрециеобразующих компонентов, а также от электрохимических и, возможно, биологических свойств поверхностей, на которых происходит осаждение окислов железа и марганца. Изучение причин такого относительно быстрого роста конкреций вероятно позволило бы в будущем добывать марганец, железо и ряд других элементов из искусственно создаваемых (техногенных) месторождений.

Значительный интерес в промышленном отношении представляют иловые осадки морского дна. В 2011 г. японские ученые под руководством Я. Като (Токийский университет) при исследовании морского дна около

островов Гавайи и Таити обнаружили высокие концентрации редкоземельных элементов в иле. Содержание РЗЭ достигало 2–3 кг/м³, что соответствовало их содержанию в ЖМК и превышает в китайских континентальных месторождениях. В Германии разработана технология извлечения редкоземельных элементов из конкреций кислотами, что позволяет при налаживании промышленной разработки избавиться от сырьевой монополии КНР по поставкам РЗЭ. Положительным аспектом также является экологическая составляющая разработки и обогащения месторождений морского дна – ил и ЖМК содержат значительно меньше урана и тория.

Для нашей страны весьма важным является наличие железомарганцевых конкреций практически во всех морях Российской Арктики. Причем глубина залегания весьма комфортна для организации добычи даже существующим оборудованием – от 5÷10 м до 120÷150 м. Существуют залежи конкреций и на больших глу-

бинах – 200÷300 м. Площади конкрециеносных полей – сотни и тысячи квадратных километров; плотность может достигать 50 кг/м² при средних значениях 3÷10 кг/м². Размеры арктических конкреций колеблются от нескольких миллиметров до 12÷15 см при шаровидной, дисковидной, лепешковидной, бобовой и трубчатой формах (рис. 5). ЖМК залегают непосредственно на дне, реже под тонким слоем донных илов, что делает их разработку малопроблематичной.

Содержание главных рудных компонентов в арктических ЖМК составляют (%): Mn – до 51, Fe₂O₃ – до 70; кобальт, никель, медь, молибден не превышают тысячных долей процента; иногда имеются примеси золота, серебра и платиноидов.

Площади скоплений ЖМК в арктических морях России полностью не определены. Только на двух участках Карского моря площадью 16,4 и 6,9 тыс. км² при средней плотности залегания 1,5 кг/м² прогнозные ресурсы определены в 24,6 и 10,3 млн т.

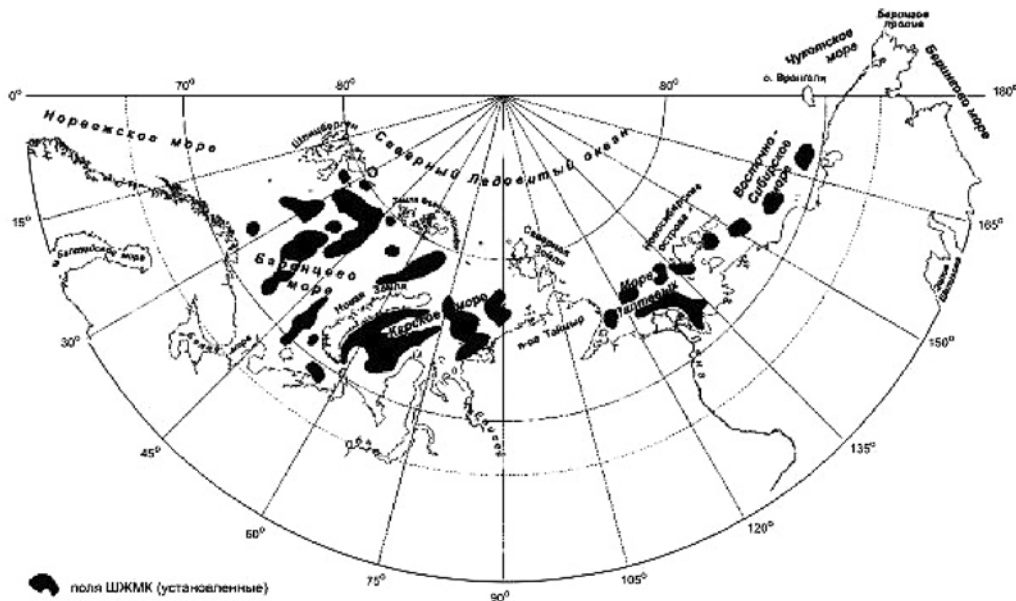


Рис. 6. Конкрециеносные площади в Российской Арктике

В Белом, Баренцевом, Восточно-Сибирском, Чукотском морях и в море Лаптевых также известно о более чем 20 перспективных участках (рис. 6). И это без масштабной постановки специализированных геологоразведочных работ.

Конкреции с меньшим содержанием полезных компонентов имеются в Черном и Каспийском морях, в устьях крупных рек России. Основные трудности использования таких рудных образований связано со сложностью обогащения и экологическими проблемами.

Анализируя результаты российских (советских) и зарубежных исследова-

ний, можно сделать вывод, что рудо-содержащие конкреции, корки и илы распространены по всему Мировому океану, а также имеются во внутренних морях и многих реках. Где-то их больше и они содержат больше полезных компонентов, как в экваториальной части Тихого океана, а где-то их меньше и они содержат меньше полезных компонентов, как в Российской Арктике, но они практически есть везде! Это колоссальная потенциальная кладовая минерально-сырьевых ресурсов, так необходимая для устойчивого развития нашей цивилизации и жизненно важная для безопасности и развития России на сотни и тысячи лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козловский Е.А. Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность. – М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 856 с.

2. Ялтанец И.М., Минаев К.В. Перспектива комплексной разработки прибрежно-морских и континентальных полиминеральных, монацитосодержащих россыпей, как источника редкоземельных и редких металлов, тория и урана / Сборник докладов VI съезда гидромеханизаторов России. – М.: Изд-во ООО «Центр инновационных технологий», 2012. – С. 42–52.

3. Козловский Е.А., Малютин Ю.С. Мировой океан как резерв минерального сырья в XXI веке / Мировая горная промышленность 2004–2005. – Т 1. – С. 165–179.

4. Трубецкой К.Н. Современное состояние минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности России // Горный журнал. – 1995. – № 1. – С. 3–7.

5. Юбко В.М., Мельников М.Е. Задачи изучения и перспективы освоения месторождений кобальтоносных марганцевых

корок дна Мирового океана // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 8.

6. Martens P.N. Exraterrestrial Mining and Deep Sea Mining – Trends and Forecasts: Доклад на 19-м Всемирном горном конгрессе в Индии, 2003.

7. Кириченко Ю.В., Шёкина М.В. Освоение ресурсов Мирового океана – основа национальной безопасности России (современное состояние и пути решения) / Сборник докладов VI съезда гидромеханизаторов России. – М.: ООО «Центр инновационных технологий», 2012. – С. 101–110.

8. Мерио Дж. Минеральные богатства океана. – М.: Прогресс, 1969.

9. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. – М.: Научный Мир, 1998. – 340 с.

10. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов / Под общ. ред. В.В. Ржевского и Г.А. Нурика. – М.: Недра, 1979. – 381 с.

11. Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С. Космическая пыль в Океане // Природа. – 2000. – № 3. – С. 21–28. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гальперин Анатолий Моисеевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой,

Кириченко Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор,

Шёкина Марина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, профессор,

Каширский Алексей Александрович – горный инженер,

Якупов Ильяс Идрисович – студент,

Московский государственный горный университет, e-mail: ud@msmu.ru.

**EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF INVOLVEMENT OF FERROMANGANESE SEABED DEPOSITS IN THE DEVELOPMENT
PART 1. MINERAL RESOURCES OF THE WORLD OCEAN**

Gal'perin A.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,
Kirichenko Ju.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Shhëkina M.V., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Professor,
Kashirskij A.A., Mining Engineer,
Jakupov I.I., Student,
Moscow State Mining University, e-mail: ud@msmu.ru.

The author emphasizes the urgency of hard mineral exploration, prospecting and development in the World ocean. The data on chemical composition, spread and reserves of the main ore provinces in the World ocean are presented conjointly with the discovery history, formation conditions and rate of growth of ferro-manganese nodules.

Key words: mineral and raw material resources in the World ocean, ferro-manganese nodules, ferro-magnetic crusts, rare earth elements, ore province, nodule formation.

REFERENCES

1. Kozlovskij E.A. *Rossija: mineral'no-syr'evaja politika i nacional'naja bezopasnost'* (Russia: Mineral and raw materials strategy and national security), Moscow, Izd-vo MGGU, 2002, 856 p.
2. Jaltanec I.M., Minaev K.V. *Sbornik dokladov VI s#ezda gidromehanizatorov Rossii* (Proceedings of the 4th Conference of Russia's Hydromechanization Specialists), Moscow, Izd-vo «Centr innovacionnyh tehnologij», 2012, pp. 42–52.
3. Kozlovskij E.A., Maljutin Ju.S. *Mirovaja gornaja promyshlennost' 2004–2005*, Mirovoj okean kak rezerv mineral'nogo syr'ja v XXI veke (World mining industry 2004–2005, The World ocean as a mineral and raw material source of the 21st century), vol. 1, pp. 165–179.
4. Trubeckoj K.N. *Gornyj zhurnal*, 1995, no 1, pp. 3–7.
5. Jubko V.M., Mel'nikov M.E. *Razvedka i ohrana nedr*, 2001, no 8.
6. Martens P.N. *Extraterrestrial Mining and Deep Sea Mining Trends and Forecasts: Doklad na 19-m Vsemirnom gornom kongresse v Indii* (The 19th World Mining Congress, India), 2003.
7. Kirichenko Ju.V., Shhëkina M.V. *Sbornik dokladov VI s#ezda gidromehanizatorov Rossii* (Proceedings of the 4th Conference of Russia's Hydromechanization Specialists), Moscow, Izd-vo «Centr innovacionnyh tehnologij», 2012, pp. 101–110.
8. Mero Dzh. *Mineral'nye bogatstva okeana* (Ocean mineral wealth), Moscow, Progress, 1969.
9. Gurvich E.G. *Metallonosnye osadki Mirovogo okeana* (Metal-rich deposits in the World ocean), Moscow, Nauchnyj Mir, 1998, 340 p.
10. *Tehnologija dobychi poleznyh iskopaemyh so dna ozer, morej i okeanov* (Technology of mineral mining at the bottom of lakes, seas and oceans), Rzhhevskij V.V., Nurok G.A. (Eds.), Moscow, Nedra, 1979, 381 p.
11. Anufriev G.S., Boltenkov B.S. *Priroda*, 2000, no 3, pp. 21–28.