

9. *Kotlicski R., Zadornov M. M.* Прошлое, настоящее и будущее СО “Интерокеан-металл” / Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века. — Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ. — Тезисы докладов, 2000.

10. *Kotlicski R.* IOM as Contractor for Seabed Exploration in the Light of International Law. 6th UUES'04. — Alushta, Ukraine, 2004. — P. 93–102.

11. *Неизвестнов Я. В., Глумов И. Ф.* /научная редакция/: Инженерная геология рудной провинции Клариион-Клиппертон в Тихом океане. — Санкт-Петербург: Наука, 2004.

12. *Parizek A.*: Hlubokomorský minerální zdroje — polymetalický konkréce, kobaltonosný FE/MN kštrý, masívni sulfidy. Vyděvě Zamestnavatelsě svaz dšlnního a naftovšho pšizmyslu. UHLH rudy, geologickě pšizkum, 2002, — 11. — P. 3–10.

13. *Radziejewska T., Szamalek K., Kotlicski R.* Marine Environment in the IOM Area (Clarion-Clipperton Region, Subtropical Pacific): Current Knowledge and Future Needs // The Proceedings of The Firth (2003) ISOPE Ocean Mining Symposium. — Tsukuba, Japan, 2003. — P. 188–193.

Відображено діяльність спільного підприємства “Интерокеанметалл” з пошуків, розвідки та підготовки до промислового освоєння родовищ залізомарганцевих конкрецій Тихого океану.

Activity of the joint organization Interokeanmetall on the search, secret service and preparation to the industrial mastering of deposits of the gelezomargantsevih konkretsij Pacific ocean is reflected.

УДК 341.225.5:(553.31'32:552.124):669](260)

М. И. Гасик¹

ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫЕ КОНКРЕЦИИ МИРОВОГО ОКЕАНА: ЮРИСДИКЦИЯ, ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Обобщены и проанализированы данные о современном состоянии и прогнозах на ближайшую перспективу фундаментальных исследований и прикладных разработок по проблемным задачам юрисдикции, геологии, геохимии и металлургии железомарганцевых конкреций Мирового океана. Обосновано, что все возрастающее потребление цветных металлов и истощение их запасов в недрах континентов обуславливает острую необходимость ускорения создания научнообоснованных технологий и соответствующего оборудования для добычи конкреций со дна Мирового океана и разработки эффективных технологий их металлургической переработки, обеспечивающих комплексное использование всех содержащихся в них металлов.

Анализ литературных данных свидетельствует, что наращивание значительных количеств стратегически важных металлов за счет открытия новых месторождений на континентах становится все маловероятнее, не-

© М. И. Гасик:

¹ Национальная металлургическая академия МОН Украины.

смотря на применение новейшей аппаратуры и методов разведки и совершенствование знаний о земной коре.

Мировое сообщество с середины XX века проявляет все возрастающий интерес к изучению и разработке разнообразных ресурсов Мирового океана, а также околоземного пространства. Флагманские программы ориентированы на использование океанического дна для добычи глубоководных железомарганцевых конкреций [2, 22, 30] и Луны в будущей энергетике Земли [4]. По прогнозам земные источники энергии, включая природное топливо и ядерное горючее, не справятся с потребностями производства к середине нынешнего XXI века. Один из возможных путей решения энергетической проблемы связан с использованием гелия-3 (^3He) в термодинамическом синтезе (реакция синтеза $^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + 2e$ сопровождается выделением энергии 12,85 МэВ), его добычей и доставкой с Луны. Пятая Международная конференция в США была посвящена исследованию Луны, обсуждались вопросы необходимости освоения Луны, строительства на ней баз и использования гелия-3. Академик РАН Э. М. Галимов отметил, что доставка одного загруженного гелием-3 “Шаттла” с Луны может обеспечить США энергией на целый год. “...Добыча самого гелия-3, с точки зрения горнообогатительных работ, почти ничего не стоит, поскольку гелий сосредоточен в рыхлом *реголите*. На Луне его легко добыть, нужны геологоразведательные работы. Все упирается в возможности инфраструктуры термоядерного синтеза” [4]. Таким образом, энергетическую проблему Луна-Земля можно образно оценить известной русской поговоркой “телушка стоит полушку, да перевоз дорог”.

Проблемы добычи глубоководных океанических железомарганцевых конкреций (ЖМК) и извлечения из них цветных металлов представляются менее сложными по сравнению с добычей и поставкой на Землю с Луны гелия-3. Следует особо отметить, что в решении проблемы добычи и переработки уже достаточно разведанных районов Мирового океана страны заинтересованы не столько в стремлении улучшить баланс марганца (железа), а, главным образом, в возможности получения практически неограниченного источника стратегически важных элементов: Cu, Ni, Co, Mo, Ag, S и др. Учитывая темпы истощения континентальных запасов руд цветных металлов, ряд технически развитых стран активно включились в реализацию проектов по разведке, добыче, обогащению и использованию ЖМК.

Мировые континентальные разведанные запасы марганцевых руд на начало XXI века оценивают в 17,6–18,0 млрд т при их распределении по регионам и странам планеты: Африка (ЮАР, Габон, Гана и др. 80,6%, в том числе ЮАР 73,3%); Австралия 2,4%; Америка (Бразилия, Мексика) 2,9%; Европа (Украина, Грузия, Болгария 12,6%). В России разведаны 10 месторождений марганцевых руд с пригодными для эксплуатации запасами 148 млн т.

Страны, не располагающие собственными месторождениями стратегически важных металлов, практически всецело зависят от импорта их из ЮАР, Заира и других стран [30]. Так, доля мировых ресурсов марганца, хрома, кобальта, сурьмы, ниобия, лития и др. в ряде стран и зависимость

от их импорта стран Европейского экономического сообщества (ЕЭС) характеризуется следующими данными:

Страна-экспортер	Доля мировых ресурсов, %	Зависимость стран ЕЭС от их импорта, %
ЮАР	Mn 53; Cr 68	Mn 92-97; Cr 92-97
Заир	Co 39; Ta 48	Co 100; Ta 1000
КНР	Sb 53; W 52	Sb 92-97; W 80
Бразилия	Nb 70	Nb 100
Чили	Li 53; Re 37	Li 100; Re 100

В Украине, к сожалению, предприятия ОАО “Укрцинк”, ЗАО “Свинец” работают на основе вторичного сырья [9], а Николаевский глиноземный завод и ОАО “Запорожский производственный алюминиевый комбинат” — на импортных бокситах.

Масштабные запасы титана на Самотканском месторождении, марганца в Никопольском марганцеворудном бассейне и небольшие запасы никеля, хрома в Побужье никак не снижают актуальность необходимости поиска ЖМК в мировом океане.

Потребление большинства металлов в мире постоянно увеличивается. Так, к 2050 г. ожидается рост потребления, млн. т в год: меди с 15,8 в 2000 г. до 25,3–28,6; свинца с 6,2 до 10,9–12,7; цинка с 10,0 до 15,3–17,4.

Созданы несколько международных консорциумов с приоритетным участием капитала США с подключением к ним военно-промышленных концернов. Так, еще в 1962 г. гигант добывающего бизнеса “Кеннекотт копер” создал с корпорацией “Теннеко” (крупнейшим подрядчиком военно-морских сил США) совместное предприятие по подготовке к промышленной добыче железомарганцевых конкреций с морского дна. В 1980 г. конгресс США принял закон, поощряющий деятельность своих компаний в области добычи сырья со дна океана [15]. В Японии, Норвегии и других странах имеются государственные программы исследований и разработок по добыче морских конкреций. На семилетний период, начавшийся в 1981 г., японское правительство (по данным 1982 г.) ассигновало 100 млн долл. на осуществление своей программы [33].

В 1986 г. опубликован обзор работ, выполненных членами организованного в Японии в 1982 г. Комитета “The Research Committee for Processing Technique of Manganese”, в котором проанализированы наиболее перспективные схемы переработки железомарганцевых конкреций.

Консорциумом АМР (Германия) в центральной части Тихого океана изучен северный участок, богатый конкрециями, с целью добычи никеля, кобальта, марганца в количествах, обеспечивающих потребности Германии на предстоящие 20 лет [32]. Разработанный проект рассчитан на добычу 3 млн т/год ЖМК, что позволит получить 35 000 т никеля, 30 000 т меди, 5000 т кобальта и 630 000 т марганца и обеспечить рентабельность. Это сможет удовлетворить потребности по никелю на 60%, по меди — на 4%,

по кобальту — на 250% и по высокоуглеродистому ферромарганцу — на 200%.

Добычу океанических конкреций предполагали вести несколько многонациональных консорциумов, одним из которых является “Ocean Mining Association” (ОМА), куда входят фирмы США и Бельгии. По оценке рентабельное промышленное предприятие для добычи конкреций мощностью 3 млн т/год сухих конкреций потребует начальных капиталовложений в размере 600–800 млн долл. и оборотных 300–400 млн долл. в год (по ценам 80-х годов XX века). Годовой выпуск такого предприятия сможет удовлетворить 1% современной мировой потребности в меди, 2,5–4% в марганце, 5% в никеле и более чем 20% в кобальте.

На состоявшейся на Ямайке III конференции ООН по морскому праву было подтверждено, что океан и его ресурсы за пределами национальной юрисдикции государств должны использоваться в интересах всех стран. В 1982 г. в г. Монтего-Бей (Ямайка) состоялось подписание важнейшего документа — конвенции ООН по морскому праву, названной “Хартией морей”. Конвенция регулирует все аспекты деятельности в водах Мирового океана, в том числе определяет порядок использования морского дна и его ресурсов вне континентального шельфа. Разведка и добыча этих ресурсов должна производиться под контролем международного органа по морскому дну [15]. Таким образом, дно мирового океана, как и его недра, является огромным источником сырьевых ресурсов, поэтому установленный “Хартией морей” правопорядок во всех аспектах, в том числе и добыче минерального сырья, правительства всех стран должны соблюдать и строго выполнять.

Учитывая все возрастающую потребность Украины в стратегически важных металлах и отсутствие или крайне ограниченные их запасы в недрах на разведанных месторождениях, задача активного участия ее в международных органах по вопросам разведки и добычи ЖМК с привлечением научного и промышленного потенциала страны следует рассматривать как одно из приоритетных направлений при разработке и реализации национальной программы по созданию сырьевой базы стратегических металлов и сплавов.

Актуальность проведения работы по проблеме добычи и металлургической переработки конкреций Мирового океана подтверждается созданием Межведомственного координационного совета по вопросам освоения минеральных ресурсов Азово-Черноморского бассейна и Мирового океана (Наказ Державного Комітету природних ресурсів України від 25.10.2004. № 198).

Одним из богатых и перспективных для промышленной разработки является Северо-восточный район экваториального пояса Тихого океана. По ранним прогнозам количество железомарганцевых конкреций дна Тихого океана составляет $1,6 \times 10^{12}$ т. По расчетам 70-х годов ЖМК Тихого океана содержат марганца и некоторых других металлов в следующих количествах, млрд т: марганца 400, кобальта 5,8, никеля 16,4, меди 8,8, молибдена 0,86 и др. Химический состав ЖМК различных регионов колеблется в следующих пределах (в %): Mn 15–19; Fe 12–23; Ni 0,3–1,2; Co 0,20–0,30; Cu 0,2–0,7; Mo 0,076; Pb 0,056; V 0,057; Zn 0,15.

На дне Индийского океана [36] из пяти изученных районов залегания ЖМК наиболее богатым цветными металлами ($Ni + Cu + Co$) $\geq 2,47\%$ при поверхностной концентрации 5 кг/м^2 оказался один, расположенный в центральной части океана. Площадь этого участка ≈ 700 тыс. км^2 , содержание никеля, меди и кобальта в ЖМК составляет соответственно $1,2\%$; $1,16\%$ и $0,12\%$. По составу эти конкреции близки к тихоокеаническим, хотя и имеют определенное различие.

Железомарганцевые конкреции выявлены в Черном море и изучены рядом исследователей, ссылки на работы обобщены в монографии “Минеральные богатства Черного моря” [28]. Авторы ряда фундаментальных работ детально рассмотрели морфологию, химизм, гипотезы о происхождении конкреций. Изучены также ЖМК на шельфе Болгарии, Румынии, у берегов Турции. В ЖМК Черного моря выявлено более 30 химических элементов. По данным [28] и другим литературным данным ЖМК содержат в среднем: $25,5\%$ Fe, $7,7\%$ Mn, $1,61\%$ P, $0,74\%$ $C_{\text{орг}}$, $0,04\%$ As.

Одной из проблем, возникающих при добыче ЖМК, является значительное различие в соотношении в них $Co:Cu:Ni:Mn$, равное $1:4,4:5,2:110$, и современного мирового производства этих металлов $1:256:22:273$, поэтому при удовлетворении потребности в никеле за счет добычи конкреций мировая потребность в меди будет удовлетворена только на 7% , а кобальта будет произведено в четыре раза больше мировой его потребности.

Геология железомарганцевых конкреций

Большинство залежей ЖМК в океане находятся в области развития красных глин или кремнистых илов, где отмечается низкая скорость накопления кластических осадков. Полагают, что рост ЖМК зависит от наличия потенциальных ядер. Большинство разведанных залежей ЖМК располагаются по поверхности раздела осадков — вода, хотя обнаружены и погребенные осадки и корки. Предложена классификация различных процессов, которые участвуют в формировании ЖМК, выделены следующие четыре генетических типа железомарганцевых и марганцевых залежей [7, 33].

Тип I. Гидрогенные, сформировавшиеся при медленном осаждении (и адсорбции) из морской воды в окислительных условиях.

Тип II. Гидротермальные, возникающие при отложении из гидротермальных растворов в таких зонах активного вулканизма или высокого теплового потока, как активные океанские хребты, рифты и подводные вулканы.

Гидротермальные процессы, как источник марганца и ассоциированных с ним элементов, продолжают и в настоящее время. Очень интересны в этом аспекте данные исследования подводных эксгаляций в районе вулкана Бану Вуху (Индонезия), выполненные К. К. Зеленовым [10]. В результате подводной вулканической деятельности находившийся в Индийском океане остров исчез, а на его месте появилась мощная струя эксгаляций высотой до 150 м , причем при выходе из океанической воды струя была прозрачной, а в верхней ее части становилась коричнево-грязной. Комплексные исследова-

дования состава эксгалаций показали, что содержащиеся в них твердые частицы сходны по химическому составу и имели компоненты, слагающие марганцевые руды, причем содержание марганца, железа и других малых цветных металлов находилось практически в полном соответствии с их содержанием в сформировавшихся на континентах месторождениях марганца.

Сущность гидротермальной модели процессов накопления марганца состоит в том, что марганцевые месторождения различных геологических эпох образуются из гидротермальных флюидов. Модель гидротермального металлогенеза в центре спрединга показана на рис. 1 [33].

Тип III. Гальмиролитические, источником которых служили металлы, поступившие в ходе подводного выветривания базальтов.

Тип IV. Диагенетические, образовавшиеся в результате диагенетического перераспределения металлов, главным образом марганца в осадочном чехле с диффузией и обогащением на границе окислительной и восстановительной зон (в основном на поверхности раздела осадок — вода).

Р. В. Винкельман, Д. Е. Едваб, В. Р. Надирадзе развивают подход, согласно которому основным источником марганца раздела осадок — вода был космогенный. С. Рой [21] не разделяет эту точку зрения. В этой связи

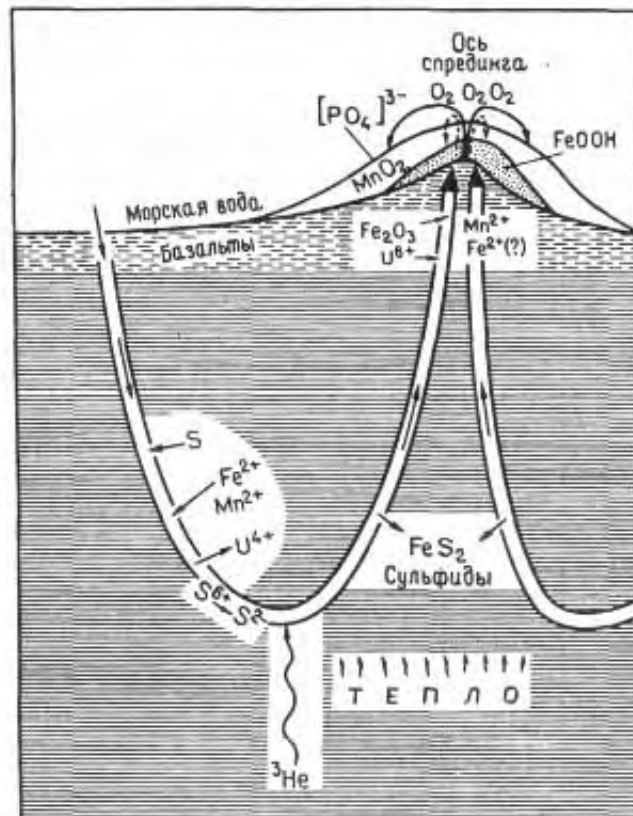


Рис. 1. Модель гидротермального металлогенеза в центрах спрединга (Fe, Mn — металлы, выщелачиваемые из базальтовой океанской коры; U — элементы, которые могут теряться гидротермальными водами и в базальтах; 3He — летучий компонент, который поступает в гидротермальную систему из верхней мантии; $(PO_4)^{3-}$ — элементы, захватываемые из морской воды при осаждении железа и марганца) [21]

представляет интерес работа, в которой рассмотрен целый комплекс вопросов состава, накопления и разрушения мелких и крупных метеоритных тел в атмосфере Земли. Металлофизические исследования реликтового железа, доставленного на Землю советской автоматической станцией “Луна-20”, показали, что в нем содержится никель (12,4%), кобальт (0,57%), фосфор (2,3%), сера (0,26%) и другие элементы.

В Тихом океане наиболее обширный район залегания конкреций и корок в областях развития красных глин и кремнистого глубоководного ила отмечен в поясе, протягивающемся с востока на запад между 6°30' с. ш. и 20° с. ш. на глубине 3206–5997 м (в среднем на 4853 м). Причем ЖМК в зоне кремнистых глубоководных илов богаче марганцем, никелем, медью в сравнении с конкрециями в красных илах. Богата ЖМК зона Тихого океана между разломами Кларифон и Клиппертон, к юго-востоку от Гавайских островов. В этом районе формирование ЖМК обусловлено наличием обломков вулканических пород. ЖМК имеют следующий состав, % (масс.): Mn 22,3–23,5; Fe 4,5–5,7; Co 0,19–0,22; Ni 1,24–1,54; Cu 1,0–1,17; Zn 0,1–0,12 [35].

В Северной Атлантике крупные поля ЖМК не обнаружены. Примером слабой распространенности ЖМК в Атлантическом океане служит широкое развитие турбидитов на абиссальных² равнинах. Потенциальной областью богатых залежей конкреций является район развития глубоководных морских красных глин на юго-западе Северной Атлантики.

Южная часть Тихого океана и Южная Атлантика характеризуются широким разнообразием топографии и батиметрии. В этом районе мирового океана имеются системы хребет — желоб, бассейны со спокойным рельефом, кордильера Альбатрос, глубокие абиссальные равнины и др. Установлено, что залежи ЖМК преимущественно располагаются в районах, где находятся красные глины (например, в Юго-Западной Тихоокеанской котловине и др.), в поясе развития преимущественно кремнистых илов тысячекилометровой ширины и в зоне, ограниченной плато Манихики, островами Общества, Таити и Хабиссаль, архипелагом Туамоту.

С. Рой отмечал, что быстро накапливающиеся металлоносные осадки, богатые железом, марганцем и другими металлами, бедные алюминием, титаном, торием и кремнием на Восточнотихоокеанском поднятии рассматриваются как эксгаляционноосадочные месторождения, не имеющие равных по протяженности и запасам. В отличие от Тихого и Атлантического океанов Индийский океан в аспекте выявления потенциальных залежей ЖМК менее изучен, хотя обнаружены и описаны конкреции в ряде районов этого бассейна. Локально высокие концентрации ЖМК обнаружены на склонах хребта Карлсберг и в Сомалийской котловине.

Обсуждая проблемы геологии мирового океана, А.С.Монин [16] отмечает, что на некоторых участках осей раздвижения коры (спрединга) в океанах — прежде всего в Галапагосском рифте, на Восточнотихоокеанском

² Абиссаль (от греч. Abussos) — бездонный, абиссальная зона, зона наибольших морских глубин (более 2 км). Абиссали свойственны условия: постоянно низкая температура 1–2 °С (в полярных областях ниже 0 °С), постоянная соленость 34,7–34,9%, в воде полностью отсутствует свет, огромное давление (70–110 Мн/м²), грунты — различные, или органического происхождения.

поднятии и в рифтовой зоне хребта Хуан-де-Фука — на глубине около 3,5 км обнаружили гидротермальные источники (так называемые “черные курильщики”). Академик А. П. Лисицин [14] обобщил результаты исследований 12-го рейса научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”, проведенных на аппарате глубоководного погружения “Пайсис” (до 2 км) на предмет изучения гидротермальных источников на океаническом дне. В местах их выходов наблюдаются дымовые факелы (“черные курильщики”) (рис. 2), представляющие тонкодисперсное рудное вещество, которое выпадает при смешении высокотемпературных (до 350 °С) кислых вод с природными водами — холодными, имеющими нейтральную реакцию. В отличие от “черных курильщиков” различают “белые курильщики”, которые представлены нерудными минералами. При формировании океанских рудообразований спрединг может составлять от 3 до 6–12 см/год (высокий) и даже 12–18 см/год (сверхвысокий).

Выпадающие из подводных гейзеров осадки имеют высокие концентрации сульфидов цинка, меди, кобальта, никеля и некоторых других элементов, поэтому эти осадки при меньшей глубине их залегания и значительно большей концентрации дефицитных металлов могут также оказаться промышленно полезными.

В районе острова Пасхи вулканические воды, уже давно поставляющие соединения железа и др. элементов (V, Mn, Mo), создали залежи “жидкой железной руды” на площади, почти равной территории Франции и Испании. Описаны ЖМК из залежей побережья Южной Африки, а также морей и озер. На дне Ботнического залива (Швеция) открыты значительные запасы марганцевых конкреций, а небольшая глубина моря в этом регионе допускает их промышленную добычу [40]. С. Рой обращает внимание на ряд



Рис. 2. Характерные гидротермальные башни на дне котловины Гуйаймае (черные курильщики) (по данным наблюдений с борта “Пайсиса”)

особенностей в положении залежей ЖМК в осадочном чехле современных бассейнов. Суть одной из них состоит в том, что ЖМК в основном залегают на дне водных бассейнов на поверхности раздела осадок — вода, хотя в некоторых районах нередки случаи, когда конкреции и корки погребены в осадках на различных глубинах. Это парадоксально, так как в глубоководноморских условиях скорость роста ЖМК ($\text{мм}/10^6$ лет) намного ниже скорости осадконакопления ($\text{мм}/10^3$ лет). Казалось бы, в этих условиях конкреции и корки должны были бы быстро перекрываться осадками. Наблюдаемый парадокс автор сводит к своего рода несоблюдению широко применяемого в геохронологии принципа последовательности напластования, т. е. несоблюдению закона Стенссена (Степо). Согласно этому принципу, каждый вышележащий пласт (при ненарушенной последовательности залегания сложных горных пород) моложе нижележащего. Предпринимались попытки объяснить этот парадокс некоторыми факторами: 1) деятельностью роющих организмов; 2) избирательной эрозией осадков, вмещающих конкреции, донными течениями; 3) переотложением металлов из восстановленных донных осадков на богатой кислородом поверхности раздела осадок — вода во время раннего диагенеза.

По мнению С. Роя [21] заслуживает внимания разрабатываемый Гласби подход к объяснению указанного парадокса на основе принципа Архимеда. Сущность этого подхода состоит в том, что марганцевые стяжения удерживаются на поверхности осадков благодаря энергии донных течений, а также организмами в осадочной толще и возможно гравитационному движению масс осадков. Разгадке этого парадокса может оказать помощь изотопная геохимия [12, 13]. В иле на больших глубинах обнаружена адсорбция железа и марганца на бактериях, находящихся на быстро оседающих частицах в открытом океане. На глубине более 100 м бактерии имеют наружные оболочки (капсулы), содержащие металл аморфной или мелкокристаллической структуры.

Скорость стяжения ЖМК и корок определяется радиометрическим датированием ($^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, $^{230}\text{Th}/^{231}\text{Pa}$, ^{10}B , ^{40}K , ^{238}U). Причем скорость роста ЖМК устанавливают либо путем датирования ядра, либо определения разницы возрастов последовательных оксидных слоев при допущении, что указанные выше радионуклиды поступают в них из вод бассейна равномерно.

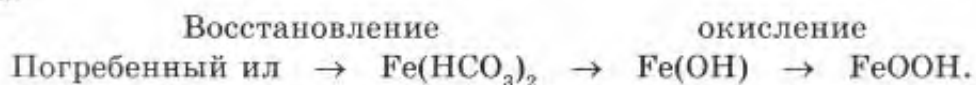
Обобщение обширных экспериментальных данных [21, 24, 30] свидетельствует о том, что на различных стадиях роста глубоководных ЖМК возникали перерывы. Возможно, что находящиеся на дне мирового океана ЖМК представляют собой продукт быстрого прерывистого роста. Оценена средняя скорость роста ЖМК, соответствующая одному монослою молекул в год. Оказалось, что период ускоренного роста конкреций (50–250 мм/млн лет, 40 000 лет назад) обусловлен резким увеличением выпадения органического вещества. Предприняты попытки объяснить, почему конкреции не погребены под слоем осадков, скорость выпадения которых, как отмечалось выше, в тысячи раз больше, чем скорость роста конкреций и корок [37].

Геохимия железомарганцевых конкреций

Обнаруженные в конкрециях и корках марганецсодержащие минералы соответствуют общепринятой номенклатуре минералов марганца, содержащихся и в континентальных месторождениях марганцевых руд. Наиболее представительными минералами являются: тодорокит, бернессит и вернадит (в зарубежных источниках принято рассматривать этот минерал как δ - MnO_2).

Из числа других минералов в конкрециях и корках различными исследователями установлены: рансьеит, нсутит, манганит, криптомелан, пиролюзит и псиломелан. Единственное проявление алабандина выявлено в восстановительных осадках Балтийского моря.

Представляет интерес рассмотрение вопроса о природе железа в ЖМК и корках. На основании результатов мессбауэровской спектроскопии установлено, что преобладающей железосодержащей фазой является полимер гидратированного оксида трехвалентного железа. Поскольку ЖМК отличаются региональными вариациями минерального состава, то различные исследователи описывают различные формы нахождения железа, которые могут быть в виде самостоятельных выделений, перемещающихся в обогащенных марганцем слойках, либо находятся в тесной смеси с марганцем или в составе рентгеноаморфных железомарганцевых соединений. С. Рой [21] со ссылкой на публикации ряда авторов указывает, что железогидроксидные фазы идентифицированы как гетит, лепидокрокит, акаганеит, δ' - $FeO(OH)$ ферроксигит. Последний минерал по Ф. В. Чухрову и др. (1976 г.) (на работу которых ссылается С. Рой) [21], образуется в результате следующего процесса:



В Тихом океане выделены четыре основных типа марганцевых конкреций: 1) обогащенные железом (Южная часть Тихого океана); 2) обогащенные марганцем и обедненные медью и кобальтом (обнаружены в континентальном обрамлении США); 3) богатые медью и никелем (найжены в пелагических областях океанов); 4) богатые кобальтом (ограничены в своем распространении поднятиями рельефа с высокоокислительными условиями [21]).

В отложениях в Атлантическом океане в конкрециях и корках никеля и кобальта меньше, а железа больше, чем в Тихом и Индийском океанах. Отложения северной части Атлантического океана более богаты никелем и медью, чем южной. Максимальное содержание никеля в ЖМК (до 1,5%) обнаружено в Капской котловине. Региональные вариации химического состава марганцевых отложений в Индийском океане в основном совпадают с тихоокеанскими. Содержание железа в ЖМК связано с содержанием марганца обратно пропорциональной зависимостью. Характер изменения содержания меди в ЖМК подобен характеру изменения содержания никеля. Несколько отличен характер распределения кобальта; наиболее высокие его концентрации характерны для подводных гор и других приподнятых зон

Атлантического океана (до 1% Co на подводных горах Келвин) и наиболее низкие — для впадин. Более высокие концентрации кобальта обнаружены и на приподнятых участках в Индийском океане.

Марганцевые карбонаты сосуществуют с оксидными марганцевыми конкрециями. Эти ассоциации встречаются в морских заливах (максимальная глубина 130–200 м). На современных океанических плато, подводных горах и в мелководных участках морей обнаружены ассоциации марганцевых залежей с фосфоритами. Оксиды марганца и железа слагают покровы на фосфоритах, а иногда образуют тесное взаимное прорастание, причем оксиды марганца могут проникать в фосфориты. В связи с этим в некоторых марганцевых залежах содержится много фосфора, а в фосфоритах — марганца. Более детальное изучение этих процессов могло бы помочь раскрыть физико-химическую природу фосфора в марганцевых рудах Никопольского месторождения.

Наблюдаются изменения химического состава конкреций от их ядра к поверхности. Для конкреций Индийского океана характерно увеличение содержания никеля, кобальта, марганца и меди от ядра к внешней оболочке.

На основании обобщения многочисленных данных исследований химического состава океанических отложений выявлена положительная корреляция различных элементов (Ni, Cu, Co, Mo, W, Zn, Ba, Sr) к марганцевым фазам. С железосодержащими фазами ассоциируют элементы: Ti, V, Cr, Al, Pb, Y, Si. Кобальт и некоторые другие элементы тяготеют как к марганцевым, так и железистым фазам. Положительную корреляцию марганца, никеля, железа объясняют образованием тодорокита при перекристаллизации δMnO_2 в присутствии ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} .

Проведены исследования сорбционных свойств океанических ЖМК [27]. Объектом исследования были четыре пробы глубоководных макроконкреций Тихого океана следующего химического состава:

Проба	Mn	Fe	Ni	Cu	Co	$\Sigma(\text{Ni} + \text{Co} + \text{Cu})$
1	19,7	12,0	0,50	0,41	0,24	1,15
2	29,80	5,7	0,89	0,91	0,13	1,94
3	13,3	12,35	0,33	0,27	0,12	0,72
4	26,4	4,32	1,20	1,02	0,22	2,44

Установлено, что цветные металлы в ЖМК тяготеют к марганцевой минеральной составляющей:

Проба	$\Sigma(\text{Ni} + \text{Co} + \text{Cu})$	Ni/Mn	Cu/Mn	Co/Mn	$\Sigma(\text{Ni} + \text{Co} + \text{Cu})/\text{Mn}$
1	0,15	0,0253	0,0208	0,0122	0,058
2	1,94	0,0298	0,030	0,0030	0,065
3	0,72	0,0248	0,020	0,090	0,054
4	2,44	0,0454	0,038	0,0833	0,092

Для первых трех проб отношения Ni/Mn достаточно близки и изменяются в пределах 0,0253–0,0298. Хорошая коррекция прослеживается и

для системы Cu–Mn. Отношение Cu/Mn для проб 1–3 изменяется от 0,02 до 0,03. Отношение $\Sigma \text{Ц.М.} / \text{Mn}$ находится в пределах 0,054–0,065. Аномально высокое содержание цветных металлов в пробе 4 по сравнению с пробами 1–3 свидетельствует о высоких сорбционных свойствах ЖМК, которые по различным причинам не были реализованы в условиях глубоководного формирования ЖМК. Возможно, это связано с региональной вариацией химсостава океанических вод и илов. Марганец в пробах 1, 2, 4 представлен бузеритом, а в пробе 3 определен вернадит.

Металлургия железомарганцевых конкреций

ЖМК представляют собой полиметаллическое минеральное сырье, поэтому главным требованием к технологическим схемам и процессам металлургической переработки ЖМК является комплексное использование всех металлов, если содержание каждого из них находится в количествах, обеспечивающих коммерческие аспекты производства этих металлов в целом.

Анализ опубликованных оригинальных работ и обзоров, выполненных отечественными и зарубежными исследователями, свидетельствует о том, что для более полного извлечения никеля, кобальта, меди, марганца применяют сложные технологические схемы, включающие в определенной последовательности сочетание процессов электрометаллургических, гидрометаллургических, химических и даже бактериальных.

Основополагающие научные разработки комплексного использования металлов, содержащихся в ЖМК, добытых советскими океанологическими экспедициями, выполнены в ЦНИИчермет им. И. П. Бардина и Институте им. А. А. Байкова АН СССР под руководством акад. РАН Н. П. Лякишева [5, 6, 8]. Из числа аналитических обзоров состояния и основных направлений комплексной переработки ЖМК за рубежом, следует отметить работу Н. И. Рыжковой [24]. Работы по металлургическому переделу ЖМК ведутся в Японии, Франции, ФРГ, Бельгии и других странах, некоторые фирмы и комитеты этих стран указывались выше в начале статьи. Большая часть зарубежных патентов по технологии переработки ЖМК принадлежит фирмам “Kennecott Copper” (КС) и “Deepsea Ventures” (DVS) [29].

В ЦНИИЧермет им. И. П. Бардина изучены физические свойства проб ЖМК, доставленных экспедициями производственно-геологического объединения “Севморгеология” с месторождений Тихого океана. Наиболее богатая никелем, кобальтом и медью усредненная проба имела следующий состав полезных компонентов, % (масс.): NiO 0,80, CoO 0,29, CuO 0,84, MnO 25,70 и FeO 12,90 [8]. Пустая порода содержала оксиды: 12,20% SiO₂; 4,5% CaO; 2,3% MnO; 7,5% Al₂O₃; 0,60% BaO. Конкреции содержали 0,18% P; 0,20% S и 0,03% As. Пробы ЖМК представлены следующими минералами марганца: асболоном — $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; лампадитом — $m(\text{Mn}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; рансьеитом — $(\text{Ca}, \text{Mn}^{2+})\text{Mn}_4^{4+}\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; криptomеланом — $(\text{K}, \text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{2+})_8\text{O}_{16}$. Единственным минералом железа в этих пробах ЖМК был гетит (FeOОН).

Исследования процесса сушки проб ЖМК при помощи микрокалориметра, термоаналитическим методом на дериватографах фирм "МОМ" и "СЕТАРАМ", а также методом изотермической выдержки образцов в электропечи показали, что основная масса воды (20–23%) удаляется при температуре от 20 до 250–320 °С. Потери кристаллохимической H₂O имели место в интервале 300–400 °С. Рекомендовано для последующего металлургического передела сушку ЖМК вести при 350–400 °С в течение 30–40 мин, так чтобы остаточная влажность составляла ≈5%. При более низкой влажности ЖМК склонны к переизмельчению. Истинная плотность ЖМК составила, г/см³: влажных от 2,91 до 3,53; сухих от 2,27 до 2,92; обожженных от 1,68 до 2,02. Кажущаяся плотность ЖМК (сухих) также имела региональные вариации от 1,6 до 1,94 г/см³, пористость изменялась от 30 до 49,5%, насыпная плотность сухих (исходных) конкреций не превышала 1,04–1,18 г/см³. Пористость нодулей (конкреций) достигает 60%, кажущаяся удельная масса 1,5 г/см³, истинная 3,8 г/см³ [34]. Сложное морфологическое строение ЖМК конкреций обусловило и различие в температурных интервалах размягчения вещества конкреций от ядра к их наружным поверхностям (корочке).

Для последующего передела высушенных ЖМК рекомендован [8] вариант предварительного селективного перевода в металлическую фазу меди, никеля, кобальта (до 90%) при ограниченной степени восстановления железа (60–70%) и практически полном сохранении марганца в оксидной форме. Оптимальными параметрами, контролирующими восстановление ЖМК водородом на стадии селективного обогащения, являются: температура 800–850 °С, продолжительность 20–30 мин. Восстановленные медь, никель, кобальт, железо находятся в обработанном продукте в виде металлической фазы микроскопических размеров. Для извлечения отработана технология электроплавки (1450–1500 °С) с целью получения комплексного сплава (Cu + Ni + Co) > 20% и передельного шлака с 34–35% Mn и ≤ 0,015% P. В качестве примера ниже приведен химический состав нескольких проб комплексного сплава и марганцевого шлака:

Сплав	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	P
1	0,14	43,25	10,72	3,37	11,08	0,27
2	0,47	77,35	8,24	2,99	8,32	0,31

Шлак	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	NiO	CoO	CuO	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO
1	1,16	38,01	11,16	0,07	0,03	0,09	0,05	1,91	2,96
2	5,88	47,94	12,18	Следы			0,025	22,58	3,18

Особенностью разработанного процесса является электроплавка селективно обогащенного в атмосфере водорода продукта ЖМК без присадки углеродного (или другого) восстановителя. Это позволяет получить сплав, богатый никелем, кобальтом, медью с ограниченным переходом железа и при почти полном сохранении марганца в шлаке. Обогащенный марганцем шлак плавки селективно обогащенных ЖМК можно исполь-

зывать для выплавки высокоуглеродистого ферромарганца (76–84% Mn; 0,12–6,0 Si; 4,7–6,956% C; 0,04–0,5% P). При различной основности (CaO)/(SiO₂) = 0,79–1,41 извлечение марганца составило 73,5–78,8%, а кратность шлака 1,13–1,55.

Проведены исследования по переработке высокофосфористых ЖМК Балтийского моря с использованием электроплавки [23].

Известен ряд зарубежных патентов, где основными стадиями металлургической переработки ЖМК являются восстановительный обжиг их во вращающихся или шахтных печах для селективного перевода в металлическую форму меди, никеля и кобальта. На следующей стадии огарок плавят в отражательной или электропечи с получением комплексного сплава системы Fe–Cu–Ni–Co и высокомарганцевого низкофосфористого шлака. На третьей стадии этот шлак используют для получения марганцевой продукции. Нодули (0,5–2,2% Ni; 0,1–1,5% Co; 0,3–2,0% Cu; 4–17% Fe; 12–34% Mn) нагревают в восстановительных условиях при 750 °С, не выше 1110 °С для получения жидкого металла и первого марганцевого шлака. Затем жидкий сплав продувают воздухом (кислородом) и получают жидкий сплав и второй марганцевый шлак. На третьей стадии жидкий сплав сульфидируют и получают штейн. Извлечение никеля достигает 97,8%, меди 94,5%, кобальта 96,5% и железа 18,5%. По данным японских исследователей, полученный в процессе восстановительной плавки расплав гранулируют и выщелачивают HCl, окисляя переходящие в раствор ионы Fe²⁺ до Fe³⁺. После экстракционного извлечения соединений Fe³⁺ также экстракцией извлекают медь и кобальт, а оставшийся в растворе никель выделяют электролизом. Шлак используют как марганецсодержащее сырье.

Сущность трехстадийного процесса пирометаллургического восстановления океанических ЖМК (Патент № 2386609 Франция) состоит в следующем. На первой стадии ведется подготовка ЖМК для восстановительной плавки. Авторы предложили два варианта подготовки ЖМК. По варианту А — конкреции подвергаются сушке при температуре > 500 °С, предпочтительно 650 °С, а по варианту Б — конкреции подвергают измельчению и промывке для удаления хлоридов щелочных металлов, что существенно уменьшает газовыделение при агломерации и плавке ЖМК. На второй стадии подготовленные способами А и Б конкреции подвергаются плавке в печах с добавкой в шихту восстановителя из расчета более полного восстановления никеля и кобальта, большей части меди и 1/3 железа и с учетом возврата “вторичного сплава”, содержащего такие восстановители как марганец и кремний. Продуктом плавки является первичный сплав, содержащий почти весь никель, кобальт, ≈³/₄ меди, ≈¹/₃ железа и небольшое количество марганца и иногда молибден, и шлак, содержащий почти весь марганец, ²/₃ железа и ¹/₄ меди, небольшое количество никеля, кобальта, иногда алюминия и титана, а также SiO₂, CaO, Al₂O₃, присутствующие в ЖМК. Шлак и сплав выпускают из печи через две летки, расположенные на различных уровнях. На третьей стадии решается задача доизвлечения ≈¹/₄ части меди, оставшейся в первичном шлаке наряду с небольшим количеством никеля и

кобальта. Для этого жидкий первичный шлак обрабатывают в одном или двух последовательных разливочных ковшах ферросилицием (75% Si). Продуктами ковшевой обработки является так называемый вторичный сплав (содержащий элементы Cu, Ni, Co, Mn, Fe, Si), который возвращают на вторую стадию в качестве восстановителя, и вторичный шлак, содержащий в основном марганец, железо, примеси оксидов и оксиды никеля и меди. Шлак рекомендуется использовать для выплавки силикомарганца и (или) ферромарганца.

В работе [36] плавку ЖМК месторождения Necker Ridge (Гавайи) вели сначала в восстановительной атмосфере CO при 625–1000 °C для перевода $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ и $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$, а затем температуру повышали до 1425 °C и присаживали кокс и SiO_2 . Цветные металлы (Cu, Ni, Co) переходили в сплав. Металлы из сплава извлекали растворением его 5% H_2SO_4 при 110 °C и давлении 1 МПа (10 атм) в присутствии кислорода, а затем извлекали кобальт (98%) и медь (96%). Сведения об извлечении никеля не приведены. Сообщается, что хвосты и шламы нетоксичны и неопасны для окружающей среды.

Предметом патента России [17] является способ выщелачивания цветных металлов и Mn сернистым ангидритом в растворе H_2SO_4 и последовательное осаждение из раствора медного, никелевого, кобальтового и марганцевого концентратов. Осаждение медного концентрата ведут путем ввода в раствор порошка металлического марганца при отношении $Mn : Cu = 1,7 : 3,4$ и при pH 1,5–2,5. Осаждение никелевого и кобальтового концентратов проводят с введением в раствор наряду с марганцем чистой серы при отношениях $Mn : (Ni + Co) = 1,3 : 2,8$ и $S : (Ni + Co) = 1,0–1,8$ при pH 2,0–5,0. Марганцевый концентрат (60% Mn, 0,01% P) осаждают водным раствором NH_3 или карбонатом аммония при pH 7,0–10,0. Особенностью разработанной многостадийной технологии переработки ЖМК по предмету патента [17] является возможность проведения процессов без применения высоких температур и автоклавных процессов, а основные реагенты регенерируются и утилизируются в товарные продукты. Предметом патента Украины [18] предусматривается восстановительная электроплавка окускованных (брикеты, агломераты) ЖМК с получением чернового полиметаллического промежуточного сплава. На следующей стадии этот сплав подвергают конвертированию газовыми смесями (технический кислород плюс природный газ) с получением передельного высокомарганцевого шлака и анодного сплава для последующего электролитического передела на никель и кобальт.

Таким образом, стремление создать практически неограниченную сырьевую базу никеля, кобальта, меди, молибдена, цинка, а в некоторых случаях серебра и даже золота вынуждает страны идти на огромные капиталовложения по добыче и переработке глубоководных океанических конкреций.

В прогнозах имеется ряд предложений строительства металлургических комплексов для переработки ЖМК на островах, в том числе и на искусственных, где легче решаются проблемы охраны окружающей среды от загрязнений, снабжения сырьем, добытым на шельфе, снижения стоимости транспортировки сырья и готовой продукции.

1. Батулин Г. Н. Геохимия железомарганцевых конкреций океана. — М.: Наука, 1986. — 328 с.
2. Бачева Е. Д. Переработка марганцевых конкреций за рубежом // Бюл. ИНТИИ ТЭИ. Черная металлургия. — 1989. — № 4 (1080). — С. 3–18.
3. Волощук Ю. И., Кащеев Б. Л., Кручиненко В. Г. Метеорное вещество и метеориты. — Киев: Наукова думка, 1989. — 340 с.
4. Галимов Э. М. Состояние и перспективы исследования Луны и планет // Вестник РАН. — 2004. — 74, № 12. — С. 1059–1081.
5. Гасик М. И. Марганец. — М.: Металлургия, 1990. — 608 с.
6. Гасик М. И., Лякишев Н. П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. — М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. — 764 с.
7. Докембрийская геология СССР. / Отв. ред. Д. В. Рундквист, Ф. П. Митрофанов. — М.: Наука, 1988. — 439 с.
8. Ермолов В. М., Миракова М. И., Шушлебин В. А. Исследование железомарганцевых конкреций // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1984. — № 9. — С. 22–26.
9. Забелин И. В., Проценко В. М. Состояние цветной металлургии Украины и проблемы ее развития // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2003. — № 4. — С. 75–78.
10. Зеленов К. К. Железо и марганец в эффузиях подводного вулкана Банувуху (Индонезия) // Докл. АН СССР. — 1964. — 155, № 6. — С. 1317–1320.
11. Зиборов А. П. Машины и оборудование для освоения подводных месторождений минерального сырья. Проблемы и перспективы // Геологические проблемы Черного моря. — Киев: ОМГОР НАН Украины, 2001. — С. 213–231.
12. Изотопная геохимия процесса рудообразования / Отв. ред. Ю. А. Шукомков. — М.: Наука, 1988. — 259 с.
13. Изотопные методы в геологии, геохимии и металлогении / Отв. ред. Л. К. Левский, О. А. Левченков. — М.: Наука, 1988. — 176 с.
14. Лисицын А. П. “Черные курильщики” и сульфидные руды на дне океана. 12-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” // Вестник АН СССР. — 1988. — № 2. — С. 103–109.
15. Мозговой Л. Ю. Океанам — законы мира. — М.: Знание, 1984. — 64 с.
16. Монин А. С. На пути к океану (Проекты XXI века). / Научно-техническая революция (проекты и решения). — 1986. — № 5 (20).
17. Патент 2184163 Россия, МПК⁷ C22 В 47/00, 3/08. Федеральное гос. унитарное предприятие ЦНИГРИ цвет. и благород. метал. — Заявл. 31.05.2001. — Оpubл. 27.06.2005.
18. Патент 60697 Украина, МПК⁷ C22 В 5/02. Ю. В. Садовник, Ю. А. Нефедов, В. В. Рабинович и др. — Заявл. 04.02.2003. — Оpubл. 15.10.2003.
19. Проблемы с медью в КНР // Metall Bull. Mon. — 2003. — Прилож. Febr. Suppl. — S. 14–15. (РЖ Металлургия 03.10–15Г32).
20. Резанов И. А. Эволюция представлений о земной коре. М.: Наука, 2002. — 299 с.
21. Рой С. Месторождения марганца. — М.: Мир, 1986. — 520 с.
22. Романчук А. И., Ивановская В. П., Королев А. Б., Кошель Д. Я. Извлечение полезных компонентов из железомарганцевых конкреций Мирового Океана. Науч. симпоз., Москва, 27–31 января 2003 г. // Горный инф.-анал. бюл. Москва.
23. Русанов М. Р., Глазатов А. И., Ткачук А. В. Переработка высокофосфористых железомарганцевых конкреций Балтийского моря с использованием электротермии (Институт ГИПРОНИКЕЛЬ) // Электрометаллургия. — 2004. — № 2. — С. 21–26.
24. Рыжкова Н. М. Состояние и основные направления технологии переработки железомарганцевых конкреций за рубежом: Обзорная информация ВНИИ экон. и минерал. сырья и геол.-развед. работ. — 1982. — 43 с. (РЖМ. — 1982, реф. 7Г215К).
25. Сутырин Ю. Перспективы освоения железомарганцевых образований глубоководных месторождений Мирового океана // Нац. металлургия. — 2003. — № 4. — С. 89–94.

26. *Тарнавский В.* Обзор мирового рынка базовых цветных металлов // *Металл. мира.*— 2003.— № 8.— С. 54–58.
27. *Челищев Н. Ф., Грибанова Н. К., Новиков Г. В.* Технологические свойства железомарганцевых конкреций // *Обогащение.*— 1988.— № 3 (197).— С. 32–35.
28. *Шнюков Е. Ф., Зиборов А. П.* Минеральные богатства Черного моря.— Киев: ОМГОР НАН Украины, 2004.— 280 с.
29. *Шнюков Е. Ф., Иноземцев Ю. И., Лялько В. И. и др.* Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые.— Киев: Наук. думка, 1983.— 200 с.
30. *Шнюков Е.Ф., Орловский Г.Н., Клещенко С.А. и др.* Железомарганцевые конкреции Индийского океана.— Киев: ОМГОР НАН Украины, 2001.— 326 с.
31. *Amsbaugh J. K.* The seas for metals. The ocean floor is a new source of strategic and critical materials // *Mater.*— Eng. 1982.— 95, № 3.— P. 56–61.
32. *Bleak V.* Future faces nodule mining // *Met. Bull. Mon.*— 1981.— № 131.— P. 71.
33. *Bonatt E., Kraemer T., Rydell H. S.* Classification and genesis of submarine iron — manganese deposits // *Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor* (D.R.Horn, Ed.), Nat. Sci. Found., Washington.— 1976.— P. 159–166.
34. *Fuerstenau D. W., Han K. N.* Metallurgy and processing of marine manganese nodules // *Miner. Proc. and Technol. Rev.*— 1983.— 1, № 1–2.— P. 75–83.
35. *Fujii Vujiro.* The technology of iron — manganese nodules utilization // *J. Mining and Met. Inst. Jap.*— 1986.— 102, № 1186.— P. 827–841.
36. *Haynes B. W., Magyar M. G., Godoy F. E.* Extractive metallurgy of ferromanganese crusts from the Necker Ridge oceanic crust // *Mar. Mining.*— 1987.— 6, № 1.— P. 23–36.
37. *Kerr R. A.* Manganese nodules grow by rain from above // *Science*, 1984.— 223, № 4635.— P. 576–577.
38. *Monhemius A. J.* The extractive metallurgy of deep-sea nodules // *Top. Nonferrous Extr. Met. Oxford e.a.*— 1980.— P/42069/.
39. *Nilsson D.* The future need of major metals // *Bergsmannen.*— 2003.— № 3.— P. 34–36.
40. *Tinsley C. R.* Manganese. Prices down to 74 levels // *Eng. and Min. J.*, 1988.— 189, № 4.— P. 51–5.

Узагальнені і проаналізовані дані про сучасний стан і прогнози на найближчу перспективу фундаментальних досліджень та прикладних розробок з цілого ряду задач: юрисдикції, геології, геохімії і металургії залізомарганцевих конкрецій Світового океану. Обґрунтовано, що великі темпи зростання споживання кольорових металів та виснаження їхніх запасів у надрах континентів обумовлюють гостру необхідність у прискоренні розробки науковообґрунтованих технологій і відповідного устаткування для видобування конкрецій з дна Світового океану і розробки ефективних технологій їхньої металургійної переробки, що забезпечить комплексне використання усіх вміщених в них металів.

Data about the modern state and prognoses of the nearest prospects of fundamental researches and applied developments in the sphere of jurisdiction, geology, geochemistry and metallurgy of the iron-manganese nodules of the World Ocean are generalized and analysed. It is grounded that increasing consumption of the non-ferrous metals and exhaustion of their supplies in the bowels of the earth of continents stipulates the sharp necessity of acceleration of creation of scientific-grounded technologies and proper equipment for the booty of nodules from the bottom of the World ocean and development of effective technologies of their metallurgical processing, providing the complex use of all metals, containing in them.