

**И.А. Сучков**

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

## К МИНЕРАЛОГИИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

---

*Цель.* Дополнительное изучение и уточнение данных по минералогии железомарганцевых конкреций.

*Методика.* Порошковая рентгеновская дифрактометрия.

*Результаты.* Получены данные по минеральному составу и структуре океанических железомарганцевых образований.

*Научная новизна.* Установлено, что основным минералом железомарганцевых корок Индийского океана является вернадит, что отражает их гидрогенную природу.

*Практическая значимость.* Показано, что минеральный состав океанических железомарганцевых образований отражает их генезис и может служить критерием оценки качества этого нового вида минерального сырья.

*Ключевые слова:* марганцевая минеральная фаза, генезис, океаническая седиментация.

В настоящее время при изучении минеральных ресурсов Мирового океана особый интерес представляют железомарганцевые образования — комплексная руда на медь, никель, кобальт, марганец и ряд других элементов. Сотрудники Одесского университета, начиная с 1980-х годов, активно изучают железомарганцевые образования. Отобранные авторами во время экспедиций в Индийский океан образцы послужили материалом для детального изучения их минерального состава. Достоверные данные о минералогии железомарганцевых образований необходимы в связи с их использованием как нового вида полезных ископаемых, а также в связи с решением вопросов их генезиса.

Опубликованы данные по распространению, морфологии, химическому и минеральному составу железомарганцевых конкреций [1–4, 7, 8, 11, 13–16 др.]. В то же время данные по минералогии железомарганцевых образований Индийского океана не полные, и во многом противоречивы (табл. 1). Приводимые в данном сообщении результаты исследования призваны восполнить этот пробел.

© И.А. СУЧКОВ, 2017

Таблица 1. Марганцевые минералы железомарганцевых образований Индийского океана (по [7] с изменениями и дополнениями)

Район	Тип образований	Минеральный состав	Источник
Центральная котловина	К К I II III	вернадит, псиломелан тодорокит тодорокит, вернадит	Безруков, 1972; Cronan, Moorby, 1981
	К I III	тодорокит. вернадит.	Rao, 1987
	К III	вернадит, ферроксигит	Чухров и др., 1989
	К I II III	бузерит-I, бузерит-II, асболан-бузерит, бернессит вернадит, асболан-бузерит вернадит, Мп-ферроксигит	Скорнякова, Успенская, 1990
Кокосовая и Западноавстралийская котловины	К	тодорокит, вернадит	Cronan, Moorby, 1981
Котловина Крозе	К	тодорокит, вернадит бернессит	Leclore, Persei, 1978
	К	вернадит, тодорокит	Cronan, Moorby, 1981
Мадагаскарская котловина	К	вернадит	Cronan, Moorby, 1981
Сомалийская котловина	К, Кр	рентгенаморфные окислы Fe и Mn.	Шнюков и др., 1979
	К	вернадит, тодорокит	Cronan, Moorby, 1981
Южноавстралийская котловина	К	вернадит, тодорокит	Frakes, 1982
Поле Диамантина	К	вернадит, тодорокит, ферригидрит, ферроксигит	Ostvoid, 1984
Срединноокеанический хребет	Кр	вернадит	Glasby, 1972
	Кр	рентгенаморфные окислы Fe и Mn	Шнюков и др., 1979
	Кр	вернадит	Cronan, Moorby, 1981

К – конкреции; Кр – корки; I, II, III – типы конкреций: I – Mn/Fe > 2,5; II – Mn/Fe = 1,5-2,5; III – Mn/Fe < 1,5

Железомарганцевые образования имеют сложный минеральный состав. Их основу составляют гидроксиды марганца и железа. В качестве примесей присутствуют кварц, глинистые минералы и другие породообразующие минералы. Марганцевая минеральная фаза определяет состав железомарганцевых стяжений и отражает их генезис. Сложность диагностики минералов марганца состоит в том, что они плохо окристаллизованы, тонкодисперсны и дают тончайшие взаимные прораствания, что требует специальных методов их изучения. Во многих случаях минералы конкреций определялись как псиломелан, вернадит, тодорокит, рентгенаморфные окислы Mn и Fe, что объясняется трудностью и неоднозначностью их определения. Большой вклад в понимание минералогии и кристаллохимии минералов марганца железомарганцевых образований внесли сотрудники ГИН

АН России, изучая конкреции Тихого океана методом электронной микроскопии с микродифракцией электронов [12].

Переход к массовому определению минерального состава и уточнению кристаллохимических особенностей гидроксидов марганца стал возможен благодаря разработке исследователями из Санкт-Петербургского государственного университета методики рентгендифракционного изучения этих образований [9].

Было показано, что основными минералами Mn и Fe в конкрециях являются вернадит, 10-ангстремовая фаза, реже бернессит, ферроксигит. 10-ангстремовая фаза ранее отождествлялась только лишь с тодорокитом, имеющим туннельный тип кристаллической структуры. Современные методы исследования минерального состава показали, что эта фаза может быть представлена целой группой минералов со слоистым типом кристаллической структуры. Основные характеристики этих минералов марганца океанических железомарганцевых образований приведены в таблице 2.

Таблица 2. Марганцевые минералы океанических железомарганцевых образований (по [10])

	Минерал	Состав	Сингония и параметры элементарной ячейки
	вернадит	$MnO_2 \cdot nH_2O$ ( $R_2O$ , $RO$ , $R_2O_3$ ) R - Na, Ca, Co, Fe, Mn	гексагональная $a=2.86$ , $c=4.70 \text{ \AA}$
7-ангстремовая фаза	бернессит	$R^{2+}_{2x}\{Mn_{1-x}(O,OH)\}^-(O,H_2O)_{6x}$ R – Mn, Na и др.; x - количество вакантных октаэдров	гексагональная $a=2.83$ , $c=7.08-7.31 \text{ \AA}$
10-ангстремовая фаза	тодорокит	$(Mn^{4+}, Mn^{3+})_8O_{12} \cdot 3H_2O$	ромбическая $a=9.75$ , $b=2.84$ , $c=9.6 \text{ \AA}$
	бузерит I, бузерит II	$Mn^{4+}_{1-x}\{(Mn^{2+}, Ca, Na, K)_x(OH,H_2O)_{2x}\}O_{2(1-x)}$ x - количество вакантных октаэдров.	гексагональная $a=2.84$ , $c=9.7 \text{ \AA}$
	асболан	$[Mn^{4+}_2O_{2-x}OH_x]^{x+}[R^{2+}_{1-y}(OH)_{2-2y-x}]^x \cdot nH_2O$ $R^{2+}$ – Ni, Co, Ca; y, x < 1	гексагональная $a=2.823$ , $c=9.6 \text{ \AA}$
	неупорядоченный смешанослойный асболан-бузерит	катионы Mn, Ca (мало), Cu и Co не обнаружены	гексагональная $c=9.8 \text{ \AA}$
	неупорядоченный смешанослойный бузерит I – “дефектный литиофорит”	неупорядоченное чередование бузеритоподобных ( $Mn_{1-x}O_2$ ) и литиофоритоподобных ( $R(OH)$ пакетов. R - Mg, Al, Ni	гексагональная $c=10 \text{ \AA}$

Методом порошковой рентгеновской дифрактометрии нами изучен минеральный состав железомарганцевых образований Центральной и Западноавстралийской котловин, а также Восточноиндийского и Срединноокеанического хребтов Индийского океана. Основные характеристики изученных рудных образований приведены в таблице 3.

Минеральный состав железомарганцевых образований разнообразен и различается как по типам руд, так и по регионам. Отмечается географическая измен-

Таблица 3. Основные характеристики железомарганцевых образований Индийского океан

Район	Характеристика конкреций							
	Тип	Морфология	Структура поверхности	Текстура	Внутренняя структура	Минеральный состав	Mn — Fe	$\Sigma$ Cu,Ni, Co,%
Срединно-океанический хребет	III	сфероидальные, уплощенные	гладкая	концентрически-слоистая, радиально-лучистая	коллоидальная, дендритовая	вернадит, гетит	0,3-1,4	до 0,4
Восточно-Индийский хребет	II	сфероидальные	мелкоглобулярная	концентрически-слоистая	клубулярная коллоидальная	бузерит I, асболан-бузерит	1,5-3	до 2,4
	III	сростковые	гладкая	тонкоконцентрически-слоистая	коллоидальная	вернадит	<1,5	0,4-1,3
Западно-Австралийская котловина	II	сфероидальные, эллипсоидальные	мелкоглобулярная	концентрически-слоистая	глобулярная коллоидальная	бузерит I, асболан-бузерит	>1,5	до 2,3
	III	угловато-округлые, сростковые	гладкая	концентрически-слоистая, радиально-лучистая	коллоидальная, дендритовая	вернадит	<1,5	0,4-1,2
Центральная котловина	I	Сфероидальные эллипсоидальные	крупноглобулярная	грубоконцентрически-слоистая	глобулярная	асболан-бузерит, бузерит I	4	до 2,6
	II	дискоидальные, сростковые	мелкоглобулярная	концентрически-слоистая	глобулярная, коллоидальная	асболан-бузерит, бузерит I, II	1,5-4	1,3-1,9
	III	угловато-округлые, лепешковидные	гладкая	тонкоконцентрически-слоистая	коллоидальная	вернадит	<1,5	0,7-1,3

чивость вещественного состава железомарганцевых конкреций для различных районов Индийского океана, что отражает особенности океанического седиментогенеза. В восточной части океана, наиболее перспективной для промышленного освоения (Центральная, Западно-Австралийская котловины), преобладающими фазами являются 10-ангстремовые минералы со слоистым типом структуры (бузериты, смешанослойный асболан-бузерит). Структура этих минералов достаточно мобильна, что может способствовать вхождению в их кристаллическую структуру таких элементов, как медь и никель, что подтверждается экспериментальным изучением их сорбционных свойств [5]. В западной части океана конкреции сложены вернадитом и имеют низкие концентрации рудных элементов.

Таблица 3. Окончание

		Характеристика микроконкреций					
Район	Морфология	Вмещающие осадки	Минеральный состав	Mn/ Fe	$\Sigma$ Cu, Ni, Co, %		
Срединно-океанический хребет	гроздевидные, цилиндрические	известковистые, известково-глинистые илы	вернадит	0,5-1,5	-		
Западно-Австралийская котловина	гроздевидные	глинистые, кремнистые, слабоизвестковистые	бернессит, бузерит I	4-14	до 3,2		
Центральная котловина	гроздевидные, округлые, цилиндрические	глинистые, кремнистые, слабоизвестковистые	бернессит, асболан-бузерит, бузерит I, бузерит II, вернадит	5-30	1,4-3,5		
		Характеристика корок					
Район	Субстрат	Текстура	Мощность, мм	Mn/Fe	$\Sigma$ Cu, Ni, Co, %	Минералы	
Срединно-океанический хребет	сильно измененные базальты	тонко-слоистая, массивная	0-5	0,4-1,0	до 0,3	вернадит гетит	
Восточно-Индийский хребет	свод	сильно измененные базальты	тонко-слоистая, массивная	0-4	1,0	до 0,9	вернадит
	западный склон	рудное вещество I группы	горизонтально-слоистая брекчиевидная	до 7	1,5-2,0	до 1,0	асболан-бузерит, бузерит I
рудное вещество II группы		30-1821			до 0,01	бернессит, пиролюзит, тодорокит	
Центральная котловина (южная часть)	базальты	тонко-слоистая	0-4	1,2-2,0	0,6-1,2	вернадит	
Центральная котловина (разлом Индранги)	литифицированные осадки	тонко-слоистая	0-3	1,0-2,0	0,7-1,1	вернадит	

Для железомарганцевых конкреций отмечается концентрически-зональное распределение минералов в пределах отдельных стяжений, а также вертикальная асимметрия в изменении минерального состава. Внешние зоны конкреций слагают наиболее гидратированные, с менее совершенной кристаллической структурой, разности марганцевых минералов. Внутренние зоны и ядро конкреций слагают более устойчивые минеральные фазы. Подобное распределение минералов в пределах отдельных стяжений объясняется твердофазовыми трансформационными переходами марганцевых фаз.

Минеральный состав микроконкреций также отличается по регионам. В западной части океана их состав аналогичен составу конкреций этого района. В микроконкрециях восточной части океана наряду с минералами, характерными для кон-

креций, присутствует бернессит, причем вниз по колонке осадков его количество увеличивается, что может быть связано с диагенетическими преобразованиями.

Основным минералом железомарганцевых корок является вернадит, что отражает их гидрогенную природу. Особый минеральный состав имеют коркоподобные образования западного склона Восточноиндийского хребта. Их слагает рудное вещество двух групп, резко отличающихся по минеральному и химическому составу. Вещество первой группы по составу близко железомарганцевым конкрециям этого региона. Вещество второй группы слагает бернессит, а также впервые обнаруженный в рудных океанических образованиях минерал марганца с туннельным типом кристаллической структуры – пиролюзит. Сопоставление вещественного состава коркоподобных образований с другими рудами показало, что они имеют смешанную гидротермально-осадочную природу. Этот факт существенно расширяет представления о гидротермальной деятельности на дне океана вне зон спрединга.

Таким образом, минеральный состав океанических железомарганцевых образований отражает их генезис и может служить критерием оценки качества этого нового вида минерального сырья. Вернадитом сложены конкреции и корки, имеющие гидрогенно-седиментационную природу. Наиболее перспективные для промышленного освоения по содержанию цветных металлов конкреции сложены различными 10-ангстремовыми марганцевыми минералами со слоистым типом кристаллической структуры и имеют седиментационно-диагенетическую природу. Гидротермальные марганцевые руды сложены бернесситом либо марганцевыми минералами с туннельным типом структуры. Этот тип марганцевых руд самостоятельного промышленного значения не имеет, но важен как поисковый признак на обнаружение гидротермальных полиметаллических сульфидных руд в океане. Выявленные закономерности близки к описанным ранее для других океанов [10], что позволяет говорить об общности марганцевого рудогенеза в Мировом океане.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас морфологических типов железомарганцевых конкреций Мирового океана. Ред. Б.Х. Егiazаров, В. Зька. Брно: 1990. 211 с.
2. Батурич Г.Н. Геохимия железомарганцевых конкреций океана. М.: Наука. 1986. 328с.
3. Кронен Д. Подводные минеральные месторождения. М.: Мир. 1982. 393 с.
4. Левитан М.А., Гордеев В.В., Морфология и химический состав железомарганцевых конкреций центральной части Индийского океана. *Литол. и полез. иск.* 1981. №5. С. 25–37.
5. Новиков Г.В., Челищев Н.Ф., Сметанникова О.Г., Сучков И.А., Франк-Каменецкий В.А. О вхождении цветных металлов в марганцевые минералы океанических конкреций и корок. *ЗВМО*. 1990. СХХII. №3. С. 49–62.
6. Скорнякова Н.С., Безруков П.Л., Базилевская Е.В., Гордеев В.В. Железомарганцевые конкреции восточной части Индийского океана (зональная и локальная изменчивость). *Литология и полез. ископ.* 1979. № 3. 3018 с.
7. Скорнякова Н.С., Свальнов В.Н., Мурдмаа И.О. и др. Железомарганцевые конкреции Центральной котловины Индийского океана. М.: Наука. 1989. 223 с.
8. Скорнякова Н.С., Успенская Т.Ю., Горшков А.И., Сивцов А.В. Железомарганцевые конкреции Центральной котловины Индийского океана. *Изв. АН СССР. Сер. геологическая*. 1990. №6. С. 117–10.
9. Сметанникова О.Г., Франк-Каменецкий В.А. Возможности рентгендифракционных методов при диагностике гидроксидов марганца. *Методы дифракционных исследований кристаллических материалов*. Новосибирск: Сиб. отд. Наука. 1989. С. 100–107.

10. Сметанникова О.Г., Андреев С.И., Аникеева Л.И., Франк-Каменецкий В.А., Сучков И.А. Минеральный состав и структура океанических железомарганцевых образований в связи с их генезисом. *ЗВМО*. 1991. **СХХ**. № 3. С. 31–42
11. Резник В.П., Зайд П.В., Ищенко Л.В. Микрорельеф поверхности ЖМК как функция условия их образования. *Геол. океанов и морей. Тезисы докладов 8 Всесоюзной школы по морской геологии*. М. 1988. **3**. С.182–183.
12. Чухров Ф.В., Горшков А.И., Дриц В.А. Гипергенные окислы марганца. М.: Наука. 1989. 208 с.
13. Школьник Э. Л., Жегалло Е. А., Батулин Г. Н. и др. Исследование марганцевой и железомарганцевой минерализации в разых природных обстановках методами сканирующей электронной микроскопии. М.: Эслан, 2012. 472 с.
14. Шнюков Е.Ф., Орловский Г.Н., Железомарганцевые конкреции Индийского океана. *Геологический журнал*. 1980. **40**. №2. С.46–64.
15. Шнюков Е.Ф., Орловский Г.Н., Клещенко С.А., Резник В.П., Зиборов А.П., Щипцов А.А. Железомарганцевые конкреции Индийского океана. Киев. 2001. 329 с.
16. Vanakar V. K., Nair R. R., Parthiban G., Pattan J. N. Oceanic ferromanganese deposits: future resources and past-ocean recorders. *The Indian Mineralogist*. 2000. **34(2)**. P. 41–56.

Статья поступила 07.02.2017

И.А. Сучков

#### ЩОДО МІНЕРАЛОГІЇ ЗАЛІЗОМАНГАНОВИХ УТВОРЕНЬ ІНДІЙСЬКОГО ОКЕАНУ

**Мета.** Додаткове вивчення і уточнення даних по мінералогії залізоманганових конкрецій.

**Методика.** Порошкова рентгенівська дифрактометрія.

**Результати.** Отримано дані по мінеральному складу і структурі океанічних залізо утворень.

**Наукова новизна.** Встановлено, що основним мінералом железомарганцевих корок Індійського океану є вернадіт, що відображає їх гідрогенного природу.

**Практична значимість.** Показано, що мінеральний склад океанічних залізоутворень відображає їх генезис і може служити критерієм оцінки якості цього нового виду мінеральної сировини.

**Ключові слова:** манганова мінеральна фаза, генезис, океанічна седиментація.

I.A. Suchcov

#### ON MINERALOGY OF FERROMANGANESIAN BUILDS-UP IN THE INDIAN OCEAN

**Purpose.** Additional study and refinement of data on the mineralogy of ferromanganese nodules.

**Methods.** Powder X-ray diffractometry.

**Findings.** Data on the mineral composition and structure of oceanic ferromanganese formations.

**Originality.** It has been established that the main mineral of iron-manganese crusts of the Indian Ocean is vernadite, which reflects their hydrogenogenic nature.

**Practical implications.** It is shown that the mineral composition of oceanic ferromanganese formations reflects their genesis and can serve as a criterion for assessing the quality of this new type of mineral raw materials.

**Key words:** manganese mineral phase, genesis, ocean sediment genesis.