

---

doi: <https://doi.org/10.15407/gpimo2018.04.063>

**И.А. Сучков**

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

## **МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ТИПОМОРФИЗМ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА КАК ИНДИКАТОР ИХ ГЕНЕЗИСА**

---

*Изучен минеральный состав железомарганцевых образований (конкреций, микроконкреций, корок, коркоподобных образований) Индийского океана, проанализированы их распространение, морфология и химический состав. Новый взгляд на имеющиеся данные о вещественном составе океанических железомарганцевых образований позволяет рассматривать марганцевое рудообразование как характерную черту океанского седиментогенеза. На основании описанных минеральных ассоциаций рудных образований и кристаллохимических особенностей слагающих их минералов выделены минеральные типы, которые отражают условия образования руд.*

**Ключевые слова:** железомарганцевые образования, минеральный состав, Индийский океан.

### **Введение**

В настоящее время среди минеральных ресурсов Мирового океана особый интерес представляют железомарганцевые образования (ЖМО), практическое использование которых как комплексной руды на медь, никель, кобальт, марганец и ряд других элементов, является все более актуальным. Железомарганцевые образования океана подразделяются на железомарганцевые конкреции, корки и микроконкреции и могут иметь различный генезис (гидрогенный, диагенетический и гидротермальный). Основное внимание исследователей было сосредоточено на изучении конкреций и корок Тихого океана, в то время как руды Индийского океана изучены в меньшей степени [1, 3, 4, 6, 13, 14, 15, 16]. В работах, посвященных Индийскому океану, в основном рассматривались железомарганцевые конкреции, а данные по микроконкрециям и коркам скудны.

© И.А. СУЧКОВ, 2018

Более чем полувековое интенсивное изучение геологии океана принесло многочисленные открытия, во многом изменившие прежние представления о геологии планеты в целом. Однако в проблеме океанского рудогенеза основные теоретические вопросы пока не нашли окончательного решения. Более того, интерес к ним в последнее время, пожалуй, даже несколько снизился, и на первый план выходят сейчас прикладные аспекты, связанные с освоением минеральных богатств океанского дна.

В настоящее время железомарганцевые конкреции, микроконкреции и корки рассматриваются как единое целое океанического седиментогенеза и рудогенеза [11]. Т. е. рассмотрение проблем океанического рудогенеза требует освещения всех его проявлений, включая корки и микроконкреции.

Корки растут лишь в результате прямого осаждения гидрогенного и/или гидротермального вещества океанских вод, конкреции — как в результате прямого осаждения, так и за счет диагенетической поставки из вмещающих осадков и иловых вод. Микроконкреции, которые встречаются в пелагических осадках намного чаще, чем сами конкреции, образуются за счет диагенетической поставки рудного вещества из вмещающих осадков и иловых вод.

Имеющиеся представления о генезисе этих образований (седиментационный, диагенетический, гидротермальный) отражают, прежде всего, сведения об источнике рудного вещества, и в меньшей степени раскрывают механизм образования этих руд [10, 12, 13, 14].

Объект исследования — железомарганцевые образования Индийского океана. Предмет исследования — вещественный состав и морфология железомарганцевых образований и кристаллохимические особенности слагающих их минералов.

*Цель данной работы* — рассмотрение океанического железомарганцевого рудообразования во всем его разнообразии (конкреции, погребенные конкреции, микроконкреции, коркоподобные образования, корки) как характерной черты океанического седиментогенеза.

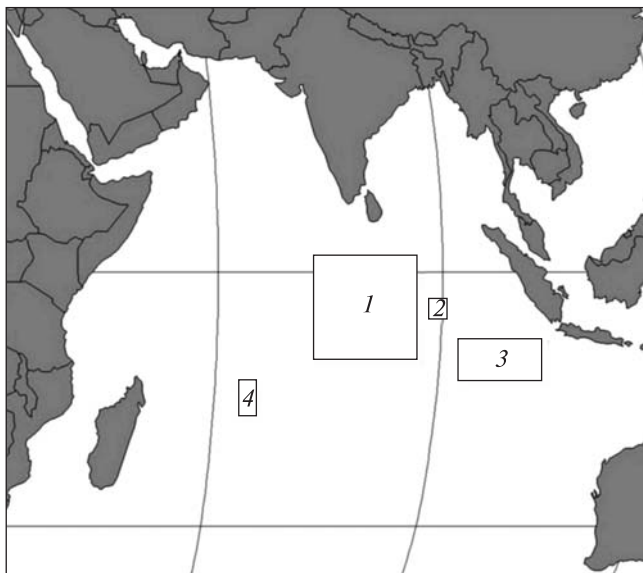
## **Материалы и методы исследования**

Материалом для детального изучения минерального и химического состава, морфологии и внутреннего строения ЖМО послужили образцы, отобранные во время экспедиций в Индийский океан (НИС «АНТАРЕС», рейсы № 1, 2, 3, 5; НИС «Феодосия»). Объектом исследования послужили образцы железомарганцевых конкреций, погребенных конкреций, микроконкреций, а также железомарганцевых корок и коркоподобных образований Центральной и Западно-Австралийской котловин, Восточно-Индийского хребта и района тройного сочленения срединно-океанических хребтов Индийского океана. Принятая в Одесском университете систематика этих образований приведена в [14]. Схема размещения изученных участков показана на рис. 1.

Основные характеристики условий залегания, морфологии, химического и минерального состава изученных железомарганцевых образований Индийского океана приведены в ряде работ [6, 7, 8, 9, 10, 13, 14].

Внутреннее строение железомарганцевых образований изучалось в аншлифах под микроскопом. Изучение минерального состава проводилось рент-

**Рис. 1.** Схема размещения изученных участков Индийского океана: 1 — Центральная котловина (152 станции), 2 — Восточно-Индийский хребт (10 станций), 3 — Западно-Австралийская котловина (36 станций), 4 — район тройного сочленения срединно-океанических хребтов (12 станций)



гендифракционным методом на дифрактометре ДРОН-3. Химический состав железомарганцевых образований определялся методом атомной абсорбции на приборе ASS-3, а также рентгеноспектральным флуоресцентным анализом (СПАРК-3).

Для диагностики минералов марганца применялась усовершенствованная методика [3, 5, 7], в основу которой положено различное поведение кристаллических решеток гидроокислов марганца при дегидратации (нагревании). Получение качественных дифракционных данных позволило проводить фазовые определения и количественные определения содержания минеральных фаз.

### Результаты исследования и их обсуждение

Железомарганцевые образования Индийского океана имеют характерный химический состав [3, 6, 14] и различаются по минеральному составу. Отмечаются вариации в химическом и минеральном составе железомарганцевых образований как в пределах одного типа, так и по разным регионам Индийского океана.

К железомарганцевым образованиям относятся различные рудные обособления, значительно отличающиеся по распространению, химическому и минеральному составу, приуроченности к различным литологическим типам осадков, источникам рудного вещества и, в конечном итоге, генезису. Среди них выделяют следующие рудные образования: конкреции (ЖМК), микроконкреции, корки и коркоподобные образования. Ниже приводится характеристика ЖМО Индийского океана.

Типизация железомарганцевых конкреций по морфологии, химическому и минеральному составам приведена в табл. 1.

Конкреции I типа встречаются в пределах Центральной котловины Индийского океана. Эти образования характеризуются высокими отношениями Mn/Fe и имеют медь-никелевую геохимическую специализацию. Рудное вещество слагают марганцевые фазы со слоистой кристаллической структурой и

лабильным межслоевым промежутком (смешанослойный асболан-бузерит, бузерит).

Конкреции II типа имеют более широкое распространение и встречаются в пределах восточной части Индийского океана (Центральная, Западно-Австралийская котловины, Восточно-Индийский хребет). Эти образования характеризуются средними значениями отношения Mn/Fe и имеют кобальт-никелевую геохимическую специализацию. Рудное вещество слагают марганцевые фазы со слоистой кристаллической структурой и лабильным межслоевым промежутком (бузерит, смешанослойный асболан-бузерит). Во внешних зонах конкреций часто присутствует гидратированная разность — неустойчивый бузерит.

Конкреции III типа распространены в пределах всего Индийского океана, но отличаются по вещественному составу в западной и восточной частях океана (табл. 1). В западной части океана конкреции характеризуются низким отношением Mn/Fe, а в восточной части океана в конкрециях содержания марганца незначительно преобладают над железом. Данный тип конкреций характеризуется невысокими содержаниями суммы содержаний меди никеля и кобальта, имеет кобальт-медную геохимическую специализацию. В западной части океана эти конкреции слагает вернадит, имеющий псевдослоистую кристаллическую структуру, и гетит. В восточной части конкреции этого типа сложены вернадитом, а также гидроокислами марганца со слоистой структурой (неустойчивый бузерит, смешанослойный асболан-бузерит).

Отмечается зональность в химическом и минеральном составе в пределах отдельных стяжений разных типов. От внешних оболочек к ядру конкреций происходит уменьшение содержания марганца, никеля и меди, при некотором увеличении содержания железа. Эти изменения связаны с изменением доли нерудного вещества по зонам роста конкреций, концентрацией железа в глинистом и кремнистом веществе, а также обогащением железом начальных фаз образования рудного вещества. Так в наружных оболочках конкреций Центральной котловины количество рудного вещества составляет 64,8 %, а в при-

Таблица 1. Типизация железомарганцевых конкреций Индийского океана

Тип конкреций	Структура поверхности	Величина отношения Mn/Fe	Сумма содержаний Cu, Ni, Co (в %)	Минеральный состав рудного вещества
Тип I	Крупноглобулярная	>4	>2	Смешанослойный асболан-бузерит, бузерит
Тип II	Мелкоглобулярная	>1,5	До 2	Бузерит, смешанослойный асболан-бузерит, неустойчивый бузерит
Тип III	Гладкая	<i>Западная часть Индийского океана</i>		
		<1, Редко до 1,4	<1	Вернадит и гетит
		<i>Восточная часть Индийского океана</i>		
		<1,5	<1,5	Вернадит, неустойчивый бузерит, смешанослойный асболан-бузерит

дерных зонах уменьшается до 46,8 %. Для железомарганцевых конкреций всех типов отмечается концентрически-зональное распределение минералов в пределах отдельных стяжений, а также вертикальная асимметрия в изменении минерального состава. Особенно ярко это проявляется в конкрециях I типа. Внешние зоны конкреций слагают наиболее гидратированные, с менее совершенной кристаллической структурой, разности марганцевых минералов (неустойчивый бузерит, бузерит I). Центральные и приядерные зоны конкреций слагают более устойчивые минеральные фазы с более упорядоченной кристаллической структурой (бузерит II, смешанослойный асболан-бузерит). Подобное распределение минералов в пределах отдельных стяжений объясняется твердофазовыми трансформационными переходами марганцевых фаз [10].

**Погребенные горизонты конкреций** достаточно часто встречаются в пределах Индийского океана и описаны в большинстве конкреционных полей. Число горизонтов погребенных конкреций достигает 4. По морфологии погребенные конкреции повсеместно близки к конкрециям, залегающим на разделе «вода-осадок», обнаруженных на тех же станциях. Преобладающий размер погребенных конкреций 10—40 мм, хотя и встречаются конкреции до 60 мм. Преобладают шаровидные и округлые образования с бугристой поверхностью. Химический состав погребенных конкреций существенно не отличается от состава конкреций, залегающих на поверхности дна. Минеральный состав погребенных конкреций восточной части океана представлен 10 Å марганцевыми минералами со слоистой структурой (смешанослойный асболан-бузерит, бузерит II) и вернадитом. В погребенных конкрециях западной части океана (район сочленения срединно-океанических хребтов) основными минералами являются вернадит и гетит. В пределах интервалов колонки осадков вещество погребенных конкреций сохраняет постоянство фазового состава. В целом, характерной чертой погребенных конкреций является отсутствие зональности в распределении марганцевых минералов. Минеральный состав погребенных конкреций соответствует минеральному составу ядра и приядерных зон конкреций, залегающих на поверхности дна.

**Микроконкреции** широко распространены в донных отложениях Индийского океана. Для восточной части океана максимальные содержания микроконкреций приурочены к глинистым и кремнисто-глинистым илам. В западной части океана (район тройного сочленения срединно-океанических хребтов) микроконкреции залегают в известковистых и глинисто-известковистых осадках и часто приурочены к горизонтам металлоносных осадков. Для микроконкреций характерно преобладание многоядерных микросростковых, гроздевидных форм. В западной части океана микроконкреции, кроме неправильной гроздевидной формы, встречаются в виде трубочек. По химическому составу микроконкреции восточной части океана относятся к никель-марганцевой геохимической специализации и характеризуются значительным преобладанием марганца над железом ( $Mn/Fe > 5$ , достигая 18) и высокими содержаниями меди, никеля и кобальта (в сумме  $>3\%$ ), причем в основном за счет никеля (2 % и более). Микроконкреции западной части океана преимущественно железистые и по содержанию рудных элементов близки к обнаруженным в этом районе конкрециям. В микроконкрециях восточной части океана наряду с минералами, характерными для конкреций (бузерит, асболан-бузерит), присутствует бернес-

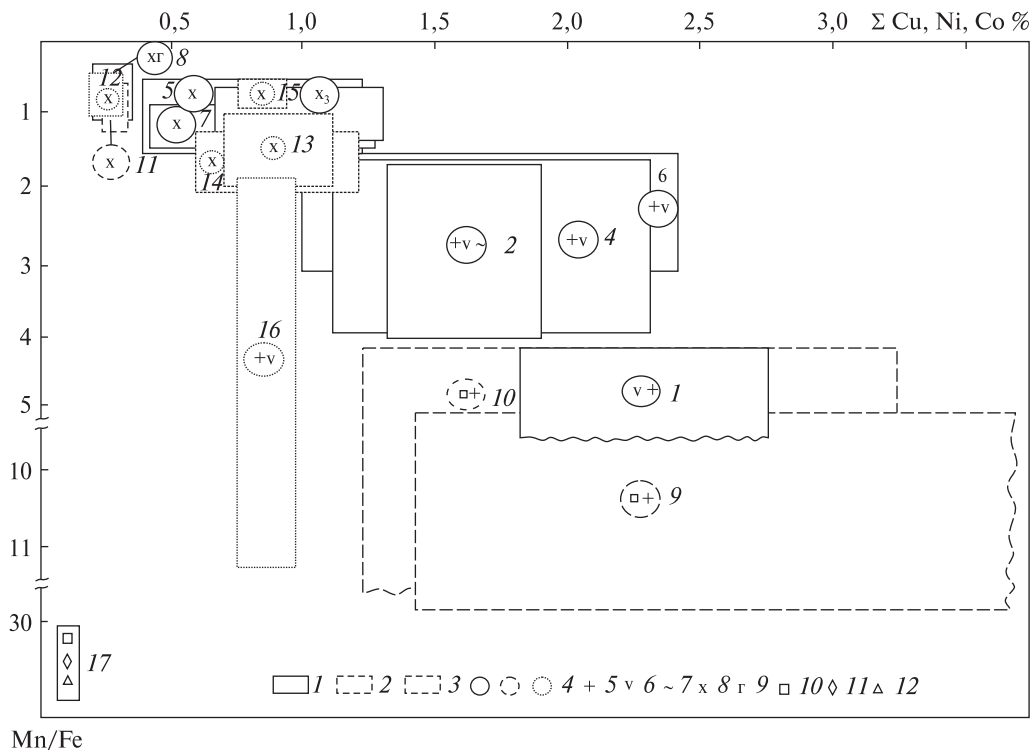
сит, причем вниз по колонке осадков его количество увеличивается, что может быть связано с диагенетическими преобразованиями. В западной части океана их состав аналогичен составу конкреций этого района (вернадит, гетит).

**Железомарганцевые корки** в Индийском океане распространены во всех изученных районах и покрывают вершины и привершинные склоны гор. Субстратом для корок служит глыбовый и щебенистый материал сильно измененных базальтов. Мощность до 4 см, в районе тройного сочленения срединно-океанических хребтов — до 5 см. В Центральной котловине Индийского океана (район разлома Индрани) были обнаружены корки, субстратом которых являлись литифицированные донные осадки (филипсит, сепиолит). Форма корок определяется формой субстрата, контакт рудного вещества с субстратом четкий. Поверхность гладкая, а макрорельеф поверхности бугристый. В разрезе они имеют тонкослоистую текстуру. Корки восточной части Индийского океана относятся к марганец-железистому и железистому типам (Mn/Fe 0,7—1,5). По сравнению с конкрециями этого района корки обеднены медью и никелем, а содержания кобальта достигает 0,5 %. Корки западной части океана имеют железистый состав (Mn/Fe 0,5—0,8) и низкие содержания меди, никеля и кобальта. Рудное вещество корок сложено вернадитом.

На западном склоне Восточно-Индийского хребта встречены **железомарганцевые коркоподобные образования** уплощенной формы либо в виде обломков неправильной формы с горизонтально-слоистой или брекчиевидной текстурой. Рудное вещество этих образований по структурно-текстурным особенностям, химическому и минеральному составу разделяется на две группы — седиментационного и гидротермального генезиса [8]. Рудное вещество седиментационного происхождения сложено 10 Å минералами со слоистым типом кристаллической структуры и подвижным межслоевым промежутком (бузерит, смешанослойный асболан-бузерит). Рудное вещество гидротермального происхождения сложено бернесситом, имеющим слоистый тип кристаллической структуры, а также минералами марганца с туннельным типом кристаллической структуры (пирролизит, тодорокит).

На рис. 2 приведено распределение различных типов железомарганцевых образований Индийского океана по особенностям их химического состава и данным по минеральным ассоциациям. Анализ представляемого распределения позволяет по минеральным ассоциациям и особенностям химического состава руд выделить следующие минералогические типы океанических железомарганцевых образований Индийского океана.

Первую группу образуют микроконкреции Центральной и Западно-Австралийской котловины, сложенные наиболее кристаллохимически упорядоченной фазой со слоистым типом кристаллической структуры — бернесситом, в качестве примеси присутствует бузерит, также со слоистым типом кристаллической структуры. В эту же группу входят конкреции Центральной котловины с крупноглобулярной структурой поверхности (тип I), которые слагают гидрокислы марганца со слоистым типом кристаллической структуры и подвижным межслоевым промежутком — бузерит, смешанослойный асболан-бузерит. Железомарганцевые конкреции и микроконкреции этого минералогического типа образуются за счет диагенетической поставки рудного вещества из вмещающих осадков и иловых вод.



**Рис. 2.** Химический и минеральный состав железомарганцевых образований Индийского океана: 1 — конкреции, 2 — микроконкреции; 3 — корки, 4 — минеральный состав, 5 — бузерит I, 6 — асболан-бузерит, 7 — бузерит II, 8 — вернадит, 9 — гетит, 10 — бернессит, 11 — тодорокит, 12 — пиролюзит.

*Зоны распространения и типы железомарганцевых образований:* 1–3 — конкреции Центральной котловины (1 — I тип, 2 — II тип, 3 — III тип), 4–5 — конкреции Западно-Австралийской котловины (4 — II тип, 5 — III тип), 6–7 — конкреции Восточно-Индийского хребта (6 — II тип, 7 — III тип), 8 — конкреции III типа района сочленения срединно-океанических хребтов, 9–11 микроконкреции (9 — Центральной котловины, 10 — Западно-Австралийской котловины, 11 — района сочленения срединно-океанических хребтов), 12–15 — корки (12 — район сочленения срединно-океанических хребтов, 13 — Центральная котловина (южная часть), 14 — Центральная котловина (район разлома Индрани), 15 — Восточно-Индийский хребет (центральная зона)), 16–17 — коркоподобные образования западного склона Восточно-Индийского хребта (16 — рудное вещество гидротермально-седиментационного генезиса, 17 — рудное вещество гидротермального генезиса)

Вторую группу образуют конкреции с мелкоглобулярной структурой поверхности (тип II) залегающие в пределах Центральной и Западно-Австралийской котловин и склонов Восточно-Индийского хребта. Основными рудными минералами этого минералогического типа являются гидроокислы марганца со слоистым типом кристаллической структуры и подвижным межслоевым промежутком — бузерит, смешанослойный асболан-бузерит. Эти образования имеют смешанную седиментационно-диагенетическую природу.

Третью группу образуют конкреции с гладкой структурой поверхности (тип III) и корки, распространенные в пределах Центральной и Западно-Австралийской котловин и склонов Восточно-Индийского хребта. Основной рудной фазой в этих образованиях является вернадит, кристаллическая струк-

тура их псевдослоистая, в которой неупорядоченно расположены катионы марганца и железа. Эти образования имеют седиментационную природу, и источником рудного вещества в них служит морская вода.

Четвертую группу образуют конкреции, микроконкреции и корки, распространенные в районе тройного сочленения срединно-океанических хребтов. Эти образования сложены вернадитом с псевдослоистой кристаллической структурой. В качестве примеси присутствует гетит. Эти образования имеют седиментационную и седиментационно-диагенетическую природу. Отличие их по минеральному и химическому составу от предыдущей группы объясняется региональными отличиями рудных образований западной и восточной частей Индийского океана [13, 14].

Особое место занимают коркоподобные образования западного склона Восточно-Индийского хребта, образующие пятую группу. Эти стяжения образованы рудным веществом двух генераций. Первая генерация сложена минералами марганца со слоистой структурой и подвижным межслоевым промежутком — бузерит, смешанослойный асболан-бузерит, и от аналогичных образований этого района отличается резким обогащением марганцем. Рудное вещество второй генерации представлено упорядоченной фазой со слоистым типом кристаллической структуры — бернесситом, а также минералами с туннельным типом кристаллической структуры — пиролюзитом, тодорокитом. Рудное вещество второй генерации характеризуется резким обогащением марганцем и предельно малыми содержаниями меди, никеля и кобальта. Рудное вещество такого состава имеет гидротермальное происхождение, а формирование рудного вещества первой генерации происходило седиментационно-диагенетическим путем с участием гидротермального материала [8].

На представленной диаграмме (рис. 2) четко проявляется общность железомарганцевого рудообразования в Индийском океане в разных морфологических проявлениях (корки, конкреции, микроконкреции). Прослеживается четкий диагональный тренд изменения химического состава образований и кристаллохимических особенностей слагающих их минералов: от корок, сложенных вернадитом, имеющим дефектную, псевдослоистую кристаллическую структуру, к конкрециям, состоящим из гидратированных дефектных разностей 10 А марганцевых минералов со слоистой кристаллической структурой, и далее к конкрециям и микроконкрециям, представленным минералами с более стабильной (менее дефектной и более упорядоченной) кристаллической структурой. На диаграмме отдельным полем обособляются железомарганцевые образования гидротермального генезиса, сложенные хорошо раскристаллизованными марганцевыми минералами со слоистым типом структуры, а также появляются минералы с туннельным типом кристаллической структуры.

## Выводы

В настоящее время железомарганцевые конкреции, микроконкреции и корки рассматриваются как единое целое океанического седиментогенеза и рудогенеза.

Корки растут лишь в результате прямого осаждения гидрогенного и/или гидротермального вещества океанских вод, конкреции — как в результате пря-



мого осаждения, так и за счет диагенетической поставки рудного вещества из вмещающих осадков и иловых вод. Микроконкреции, которые встречаются в пелагических осадках намного чаще, чем сами конкреции, образуются за счет диагенетической поставки металлов из вмещающих осадков и иловых вод. Накопление в гидроокислах марганца и железа таких элементов, как никель, медь и кобальт может происходить за счет сорбции [2]. Существенный вклад в образование конкреций и микроконкреций может вносить деятельность микроорганизмов [12], которая с одной стороны может локально изменять физико-химические параметры среды минералообразования, а с другой стороны концентрировать цветные металлы.

Рассмотрение существующих гипотез океанических железомарганцевых образований приведено в [14]. Авторы предполагают реализацию седиментационного и седиментационно-диагенетического процесса в формировании ЖМО Индийского океана, при этом источником рудообразующих компонентов являются рифтовые зоны срединно-океанических хребтов, откуда рудные компоненты переносятся придонными течениями. По-видимому, к источникам эндогенного вещества следует добавить магматизм и гидротермальную деятельность, проявленную вне зон спрединга Индийского океана (Восточно-Индийский хребет, район разлома Индрани в Центральной котловине и др.).

Проведенное исследование различных по генезису железомарганцевых образований Индийского океана показало, что наиболее распространенными минералами марганца являются 10 Å минералы со слоистым типом структуры (неустойчивый бузерит, бузерит I, бузерит II, смешанослойный асболан-бузерит), бернессит, тодорокит и пиролюзит. Последние два встречаются только в гидротермально-осадочных корках Восточно-Индийского хребта. Из минералов железа в некоторых рудах встречается гетит. Установлено, что каждый тип железомарганцевых образований (с присущим ему химическим составом, морфологией и внутренним строением) характеризуется и определенным набором марганцевых минералов. Таким образом, встречаемость того или иного гидроксида марганца и их кристаллохимические особенности могут служить типоморфным признаком железомарганцевых образований.

Выделенные минералогические типы железомарганцевых образований образуют следующий генетический ряд. Седиментационные (гидрогенные) образования (конкреции и корки) сложены гидроокислом железа и марганца с неупорядоченной псевдослоистой структурой. Седиментационно-диагенетические рудные образования (конкреции) сложены гидроокислами марганца со слоистым типом кристаллической структуры и подвижным межслоевым промежутком — бузерит, смешанослойный асболан-бузерит. Диагенетические рудные образования (конкреции и микроконкреции) слагаются как гидроокислами марганца со слоистым типом кристаллической структуры и подвижным межслоевым промежутком (бузерит, смешанослойный асболан-бузерит), так и упорядоченными гидроокислами со слоистой структурой — бернессит. Гидротермально-осадочные рудные образования характеризуются присутствием как упорядоченных слоистых гидроокислов (бернессит), так и обособлением минералов марганца с туннельным типом кристаллической структуры. В данном ряду мы отмечаем увеличение степени упорядоченности гидроокислов марганца вплоть до появления минералов с туннельным типом кристалличес-

кой структуры от седиментационных образований к диагенетическим и гидротермальным рудам.

*Автор выражает благодарность сотрудникам Лаборатории морской геологии и геохимии (ОНИЛ-3) Одесского национального университета имени И.И.Мечникова за предоставленные коллекции железомарганцевых образований Индийского океана и многолетний творческий научный интерес к данному научному направлению.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова О. Ю. Минеральный состав морфогенетических типов железомарганцевых рудных образований океана. *Геология рудных месторождений*. 2008. Т. 50. № 6. С. 526—534.
2. Новиков Г. В. О вхождении цветных металлов в марганцевые минералы океанических конкреций и корок. *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 1990. Ч. СХХII. № 3. С. 49—62.
3. Скорнякова Н. С. Железомарганцевые конкреции Центральной котловины Индийского океана. Москва: Наука, 1989. 223 с.
4. 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—123.
5. Сметанникова О. Г., Франк-Каменецкий В. А. Возможности рентгендифракционных методов при диагностике гидроксидов марганца. Методы дифракционных исследований кристаллических материалов. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1989. С. 100—107.
6. Сметанникова О. Г., Андреев С. И., Анисеева Л. И., Франк-Каменецкий В. А., Сучков И. А. Минеральный состав и структура океанических железомарганцевых образований в связи с их генезисом. *Записки Всероссийского минералогического общества*. 1991. Ч. СХХ. № 3. С. 31—42.
7. Сучков И. А., Сметанникова О. Г., Резник В. П. Минеральный состав железомарганцевых конкреций Центральной котловины Индийского океана. *Минерал. журнал*. 1988. Т. 10. № 4. С. 73—78.
8. Сучков И. А., Резник В. П., Сметанникова О. Г., Франк-Каменецкий В. А. Минеральный состав гидротермальных марганцевых коркоподобных образований Восточно-Индийского хребта. *Минерал. журнал*. 1991. Т. 13. № 1. С. 60—67.
9. Сучков И. А., Резник В. П., Главацкий В. И. Минеральный состав железомарганцевых образований Индийского океана. *Мінералогія в Одесі на межі тисячоліть: Праці кафедри загальної та морської геології. ОНУ. Одеса*. 2000. Вип. 1. С. 69—75.
10. Сучков И. А. Изменчивость минерального состава железомарганцевых образований Индийского океана как проявление особенностей их генезиса. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. Вип. 5. 2012. С. 96—104.
11. Сучков И. А. Железомарганцевое рудонакопление как характерная черта океанического седиментогонеза. *Сучасні проблеми літології осадових басейнів України та суміжних територій: Збірник матеріалів міжнародної наукової конференції*. 6—11 жовтня 2014, Київ, 2014. С. 89.
12. Школьник Э. Л., Жегалло Е. А., Батурин Г. Н. и др. Исследование марганцевой и железомарганцевой минерализации в разных природных обстановках методами сканирующей электронной микроскопии. Москва: Эслан, 2012. 472 с.
13. Шнюков, Д. Е. Макаренко, М. М. Иваник и др. Геология и металлогения северной и экваториальной частей Индийского океана. АН УССР, Ин-т геол. наук. Киев: Наукова думка, 1984. 166 с.
14. 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.
15. Banakar V. K., Nair R. R., Parthiban G., Pattan J. N. Oceanic ferromanganese deposits: future resources and past-ocean recorders. *The Indian Mineralogist*, Vol. 34(2), 2000. P. 41—56.

16. Chiranjeeb Sarkar, Sridhar D. Iyer and Sugata Hazra. Inter-relationship between nuclei and gross characteristics of manganese nodules, Central Indian Ocean Basin. *Mar. Georesour. Geotechnol.* 26(4). 2008. P. 259—289.

*I.O. Сучков*

#### МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД І ТИПОМОРФІЗМ ЗАЛІЗОМАРГАНЦЕВИХ РУДНИХ УТВОРЕНЬ ІНДІЙСЬКОГО ОКЕАНУ ЯК ІНДИКАТОР ЇХ ГЕНЕЗИСУ

Вивчено мінеральний склад залізомарганцевих утворень (конкрецій, мікроконкрецій, корок, коркоподібних утворень) Індійського океану, проаналізовано їх поширення, морфологію і хімічний склад. Новий погляд на наявні дані про речовинний склад океанічних залізомарганцевих утворень дозволяє розглядати марганцеве рудоутворення як характерну рису океанського седиментогенезу. На підставі описаних мінеральних асоціацій рудних утворень і кристалохімічних особливостей мінералів, що їх складають, виділені мінеральні типи, які відбивають умови утворення руд.

**Ключові слова:** залізомарганцеві утворення, мінеральний склад, Індійський океан.

*I.A. Suchkov*

#### MINERALOGICAL COMPOSITION AND TYPOMORPHISM AS ORIGIN INDICATORS OF FERROMANGANESE ORE FORMATIONS OF THE INDIAN OCEAN

Major part of publications, which are dedicated to ferromanganese formations, consider ferromanganese nodules as well. Though, the spectrum of ocean ferromanganese ore genesis is much wider. It includes nodules, buried nodules, microconcretions, crusts, crusts-like formations. This article is dedicated to the studies of all forms of ocean ferromanganese ore genesis by the example of the Indian Ocean.

Detailed data about mineralogical and chemical composition, as well as morphology and inner structure was obtained from the samples, collected during surveys in the Indian Ocean, which were carried out by Odesa National I.I. Mechnikov University. X-ray diffraction method was used. The chemical composition was determined by atomic absorption and X-ray fluorescent spectral analysis.

The data about distribution, morphology, chemical and mineralogical composition of ferromanganese formations, as well as crystal-chemical features of manganese minerals, which constitute these formations is presented in this article. Analysis of the mineralogical composition of formations of different origin allowed to allocate their mineralogical types. The allocation of these types is based on mineralogical associations and crystal-chemical features of the minerals, which constitute them.

Sedimentological (hydrogenous) formations (concretions and crusts) are made of iron and manganese hydrous oxides with irregular pseudo layered structure. Sedimentological and diagenetic ore formations (concretions) are made of hydrous oxides of manganese with layered type of crystal structure and mobile interlayer space, e.g. buzerit, mixed-bedded asbolan-buzerit. Diagenetic ore formations (concretions and micro concretions) are made of hydrous oxides of manganese with layered type of crystal structure and mobile interlayer space (buzerit, mixed-layered asbolan-buzerit), as well as of ordered hydrous oxides with layered structure — bernessit. Hydrothermal-sedimentological ore formations are characterized by the presence of ordered, layered, hydrous oxides (bernessit) as well as manganese minerals with tunnel type of crystal structure (todorokit, pirolusit).

Reconsideration of existing data about mineralogical composition of ocean ferromanganese formations allowed estimating manganese ore genesis in its all aspects as a characteristic feature of oceanic sedimentogenesis, from a new angle.

**Keywords:** ferromanganese deposits, mineralogical composition, the Indian Ocean