

## КОБАЛЬТМАРГАНЦЕВЫЕ КОНКРЕЦИОННО-КОРКОВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ГОР ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА (ТИХИЙ ОКЕАН)

*Рассматриваются условия образования, химический состав железомарганцевых конкреционно-корковых образований с высоким содержанием кобальта, обнаруженных на подводных горах Императорского хребта в Тихом океане. С помощью глубоководного обитаемого аппарата получены данные о приуроченности рудных корок к зонам поствулканической гидротермальной деятельности, тектоническим формам рельефа на склонах и вершинах подводных гор.*

Императорские горы представляют собой подводный хребет, вытянутый на 1500 км в меридиональном направлении от северо-западной оконечности Гавайского хребта на юге до возвышенности Обручева на севере. По своим морфологическим признакам Императорский хребет походит на Гавайский, что может служить основанием считать их частями одной структурной системы. Об этом свидетельствует также характер вулканических излияний и состав эффузивных пород. Однако в районе 30° с. ш. существует разрыв в хребте, связанный с зоной разлома Мендосино (ее западного продолжения) шириной около 50 миль. Характерно также смещение оси Императорского хребта относительно оси Гавайского к западу с одновременным изменением ориентировки оси от северо-западной до почти меридиональной. Все это позволяет отделить Гавайский хребет от Императорских гор и рассматривать последние как самостоятельную структуру.

Императорский (Северо-Западный) хребет протягивается примерно от 30° до 52° с. ш. и является пограничной структурой между двумя крупными тектоническими элементами дна Тихого океана — Северо-Восточной и Северо-Западной абиссальными плитами. Хребет состоит в основном из плосковершинных гор (гайотов), высотой 4000–5000 м. Ширина хребта в среднем 80–90 км, в некоторых местах достигает 150 км. Простираение хребта в целом очень близко к прямолинейному, субмеридионально. Он состоит из ряда подводных гор более или менее округлых и овальных очертаний, то обособленных, то смыкающихся своими основаниями в массивы [4].

Горы Северо-Западного хребта лежат на общем цоколе, слабо выраженном в рельефе, так как на всем протяжении хребта развиты рвы прогибания с глубинами 5500–6500 м [5]. Максимальная глубина в прогибе с восточной стороны хребта — 6830 м связана с западным продолжением зоны разлома Чинук. Над дном хребет поднимается на 5000–6000 м. Вершины

© А. В. Омельчук<sup>1</sup>, В. Х. Геворкьян<sup>2</sup>:

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко.

<sup>2</sup>Институт геологических наук НАН Украины.

хребта находятся на глубине от 3500 м на севере структуры до первых сотен метров на юге, глубины в седловинах колеблются от 4000 до 5000 м.

В настоящее время в пределах Императорского хребта известно около 25 крупных подводных гор. Для выявления основных особенностей их строения были выполнены детальные полигонные исследования, в том числе и с применением обитаемого подводного аппарата. Непосредственное наблюдение геологических объектов дало возможность получить данные об особенностях горных пород, форме и элементах залегания геологических тел, рельефе вершин и склонов подводных гор, пространственной приуроченности рудных образований, представленных железомарганцевыми корками с высоким содержанием кобальта и никеля.

По результатам погружений осуществлялись направленные драгировки, опробование проводилось также непосредственно с борта подводного аппарата. Таким образом, полученный материал был четко привязан не только к определенным макроструктурам, но и к более мелким элементам рельефа склонов и вершин гайотов. Наиболее полно были изучены коренные породы и конкреционно-корковые образования нескольких подводных гор, в том числе г.Суйко – в северной части хребта, Нинтоку, Оджин, Лира – в пределах центрального блока и Камму – в южной части. Использовались также данные, полученные в результате глубоководного бурения на четырех подводных горах хребта [7].

Подводная гора Суйко, расположенная на  $45^{\circ} 00'$  с. ш. и  $170^{\circ} 00'$  в. д. представляет собой гайот, имеющий обширную плоскую вершину площадью более  $5000 \text{ км}^2$ , состоящую из двух возвышений, разделенных седловиной. В целом вершина протягивается более чем на 100 км с севера на юг, с запада на восток — свыше 40 км. Высота гайота — 4800 м. Конфигурация подводной горы определяется, в основном, линеаментами северо-западного —  $339-346^{\circ}$  и, в меньшей степени, северо-восточного —  $60-70^{\circ}$  простирания. Вершина сложена базальтами щелочного состава, слагающими протяженные гряды высотой до 30 м. Простирание этих гряд совпадает с генеральным простиранием всего гайота —  $340-345^{\circ}$ . Ширина понижений между выходами базальтов колеблется от 20 до 200 м.

Вторично измененные породы представлены кобальтмарганцевыми конкреционно-корковыми образованиями, приуроченными к коренным выходам базальтов и развитыми как на вертикальных стенках уступов, так и на субгоризонтальных поверхностях обнажений (рис. 1). Средняя толщина корок 3–5 см, но в зонах протяженных трещин увеличивается, достигая максимальной толщины 10 см.

Подводная гора Нинтоку находится на  $41^{\circ} 00'$  с. ш.,  $170^{\circ} 30'$  в. д. и является одним из крупнейших гайотов Императорского хребта высотой 4940 м. Морфология горы определяется линеаментами северо-восточного ( $26^{\circ}$ ,  $38^{\circ}$ ) простирания. Присутствует также направление северо-запад —  $315^{\circ}$ . Вершина находится на глубине 1100 м. По наблюдениям из подводного аппарата, вершинное плато представляет собой плоскую слабобрасчленную равнину. Выходы коренного фундамента, сложенного базальтами щелочного состава, покрытыми железомарганцевыми натекками (рис. 2), представ-

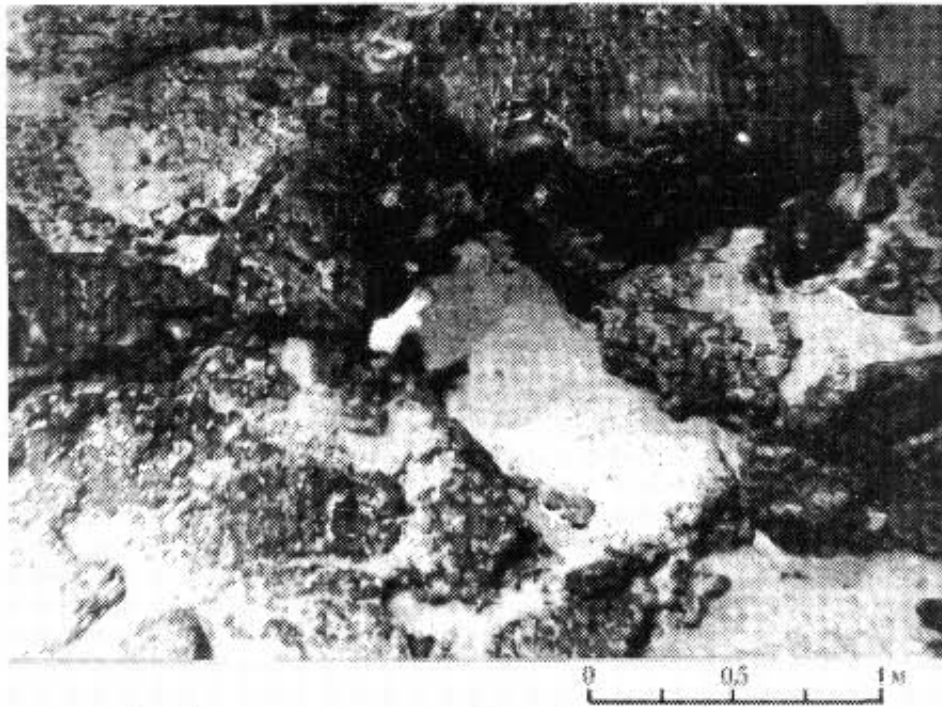


Рис. 1. Рудные корки подводной горы Суйко, глубина 1200 м.



Рис. 2. Конкреционно-корковые образования подводной горы Нинтоку, глубина 1150 м.

ляют невысокие (до 1,5 м) гряды субмеридионального простирания. В верхних частях склона встречаются тектонические уступы, в пределах которых также широко развиты корки до 5–6 см, утолщающиеся в зонах перегиба до 10–12 см.

Подводная гора Оджин расположена на  $38^{\circ} 00'$  с. ш.,  $170^{\circ} 30'$  в. д. Это крупный гайот с вершиной на глубине 1100 м ниже поверхности океана. Площадь вершинного плато  $2200 \text{ км}^2$ . Над основанием (на глубине 5850 м) гайот возвышается на 4750 м. Генеральное простирание подводной горы определяется линеаментами северо-западного —  $326^{\circ}$  и северо-восточного —  $26^{\circ}$  направлений. По данным подводных наблюдений, вершина горы представляет собой плоскую равнину, покрытую беспорядочным нагромождением обломочного материала как крупного, так и мелкого. Коренные породы представлены выходами базальтов в виде плит, возвышающихся над остальной поверхностью на 1–1,5 м. Верхняя часть склона характеризуется наличием параллельных друг другу протяженных гряд, сложенных выветрелыми базальтами.

Вторично измененные породы представлены конкреционно-корковыми образованиями, наиболее мощные из которых связаны с зонами тектонических нарушений и контактами базальтоидов с отложениями осадочного чехла (слабосцементированными конгломератами, карбонатными песками, лагунными известняками). На гайоте Оджин практически все выходы коренных пород в той или иной степени покрыты железомарганцевой коркой. Иногда это тонкая пленка, характерная также и для валунно-галечного материала, чаще корки представлены довольно толстым налетом (до 3–4 см) на выступах вулканогенного фундамента. Но самые мощные конкреционно-корковые образования приурочены к протяженным грядам, резким уступам, зонам трещиноватости (рис. 3). Здесь их толщина может достигать 5–

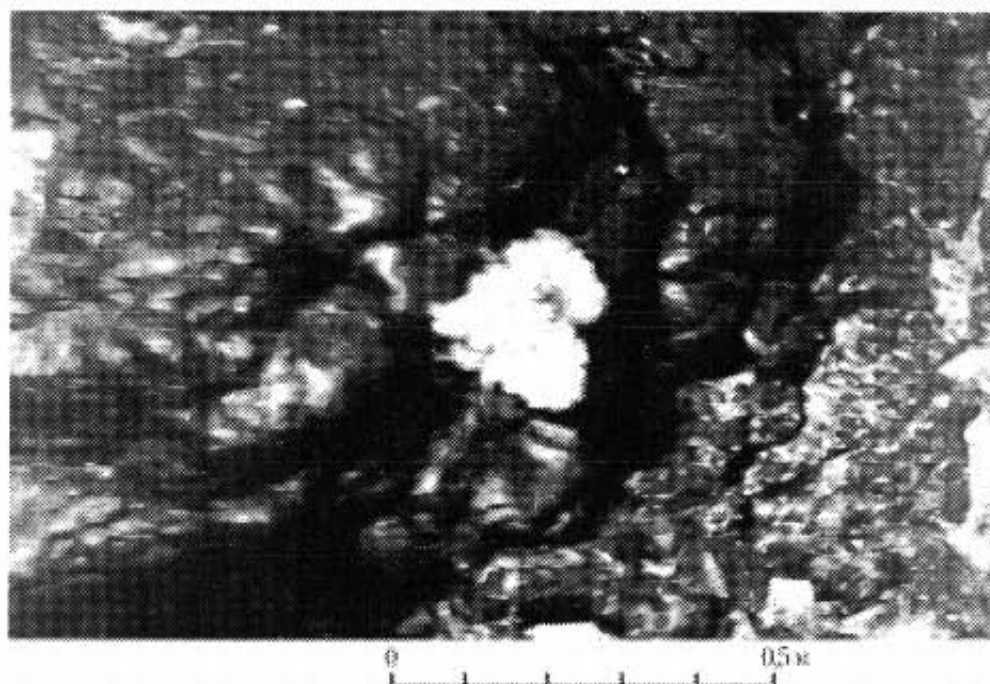


Рис. 3. Кобальт-марганцевые корки подводной горы Оджин, глубина 1100 м.

10 см, что можно объяснить влиянием поствулканических процессов на формирование вторично измененных пород.

Подводная гора Ли́ра, пограничная между центральными и южными горами, расположена в пределах древней разломной зоны северо-западного простирания, по которой заложен северный массив возвышенности Хесса и южная “ветвь” поднятия Шатского. Гора Ли́ра находится в координатах 36° 50' с. ш., 171° 25' в. д. В плане имеет изометрическую форму и представляет собой правильный вулканический конус со срезанной абразией вершиной, располагающейся на глубине 700 м. Верхняя часть гайота сложена (по данным драгирования) лагунными известняками с отчетливой слоистой текстурой сыпучими, с тонкой марганцевой коркой как на поверхности образцов (до 1 см), так и по внутренним слоям (0,1–0,2 см). На глубине 1200 м породы представлены базальтами, в большой степени подверженными вторичным изменениям. На всех образцах отмечается толстая железомарганцевая корка (до 5 см) с ярко выраженной слоистостью. Необходимо отметить, что положение подводной горы Ли́ра в пределах активной зоны определяет ее геохимическую специализацию, что выражается в более широком развитии конкреционно-корковых образований на вершине и, особенно, на склонах горы.

Коренные породы подводных гор Императорского хребта отличаются относительным постоянством состава и представляют собой базальты, андезиты-базальты, чаще всего подверженные вторичным изменениям, а также осадочные породы — конгломераты (г. Оджин) и рифогенные известняки (г. Камму).

Следует однако отметить, что на подводных горах Суйко, Нинтоку и Оджин нами были драгированы породы иного состава — андезиты, гранодиориты, граниты, а также долериты. Считается, что “экзотические” породы были принесены льдами, однако вполне вероятно, что хотя бы часть из них автохтонна и характеризует фундамент, подстилающий вулканогенную толщу. Это касается прежде всего долеритов, которые были определены в зоне Императорского разлома, расположенного восточнее одноименного хребта, как породы третьего слоя. Этот разлом протягивается на 2500 км в северо-западном направлении и сохраняет в настоящее время сейсмическую активность [6]. Возможно, в формировании фундамента Императорских гор могли участвовать породы, характерные для Императорского разлома, в частности отмеченные выше.

Большая часть пород, слагающих подводные горы Императорского хребта, подвержена вторичным изменениям, среди которых наиболее характерна хлоритизация пироксенов. В стекловатых базальтах в основной массе встречаются палагонитизованные участки, где стекло замещено глинистыми минералами. Широко развит в базальтах процесс пелитизации, которому подвержены как отдельные вкрапленники, так и основная масса породы. Рудные минералы представлены магнетитом (от 10 до 40% в тяжелой фракции), реже ильменитом, по большей части замещенным гематитом и лимонитом. Эти вторичные изменения происходили, по всей вероятности, под влиянием поствулканических явлений, приуроченных к зонам

тектонических нарушений, а также процессов выветривания горных пород в субаэральную стадию развития подводных гор и на более поздних этапах, связанных с постепенным погружением структуры.

По химическому составу базальты представлены двумя генерациями: толеитами и комплексом щелочных базальтов, которые образуют непрерывный ряд, характеризующийся увеличением железистости и щелочности вверх по разрезу. Состав вулканогенных пород Северо-Западного хребта хорошо сопоставляется с современными Гавайскими вулканами: толеитами представлены лавы вулкана Килауэа, щелочными базальтами — вулкана Мауна-Кеа [8].

Конкреционно-корковые образования, обнаруженные на подводных горах Императорского хребта, представляют интерес не только в связи с железомарганцевым оруденением, а также и благодаря высокому содержанию в них кобальта, никеля, свинца, молибдена и бария (табл. 1, 2).

По данным подводных наблюдений наиболее мощные рудные корки (до 10–12 см) приурочены к протяженным зонам тектонических уступов и понижений в верхних частях склонов подводных гор. Внешне корковые образования имеют вид почкообразных наплывов, сглаживающих неровности микрорельефа. Более тонкие налеты заполняют трещины в породах. Характерно, что конкреционно-корковые образования распространены как на базальтах северных и центральных гор хребта, так и на рифогенных известняках южной его части, имея здесь меньшую мощность. Ниже приводится описание наиболее характерных образцов железо-марганцевых корок.

Таблица 1

Химический состав железомарганцевых корок подводных гор Императорского хребта (%)

Оксид	Названия подводных гор								
	г. Суйко		г. Нинтоку		г. Оджин		г. Лири		
	№ пробы								
	33-9	36-4	35-1	35-3	37-1	37-2а	38-1	38-2а	38-2
SiO <sub>2</sub>	10,00	5,00	3,90	3,70	7,40	9,00	4,10	2,70	3,10
TiO <sub>2</sub>	0,93	0,88	0,97	0,94	0,71	1,74	0,69	0,90	0,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,80	1,10	0,80	0,70	2,30	3,20	1,40	0,70	0,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,40	22,80	21,30	20,30	68,10	15,10	15,40	14,13	19,10
CaO	2,96	3,13	3,50	3,34	0,59	2,96	3,02	3,62	3,50
MgO	1,63	1,88	1,88	1,80	1,77	3,35	2,84	2,09	1,84
MnO	21,60	32,48	33,00	34,10	6,80	34,30	37,64	37,25	34,38
Na <sub>2</sub> O	2,21	2,08	1,77	2,22	0,86	2,18	2,43	2,29	2,39
K <sub>2</sub> O	0,54	0,70	0,63	0,77	0,63	1,21	0,97	0,83	0,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,20	1,19	1,14	1,00	0,50	0,61	0,74	0,67	1,04
H <sub>2</sub> O	15,43	13,32	14,78	14,49	3,67	10,14	12,53	15,51	15,88
п.п.п.	12,65	14,61	15,85	14,69	7,46	13,80	15,83	15,47	15,08
Сумма	100,35	99,17	99,52	98,05	100,79	97,59	97,59	96,33	98,89

Таблица 2

Концентрация микроэлементов в железомарганцевых корках подводных гор Императорского хребта. Атомно-абсорбционный анализ (в пересчете на %)

Элемент	Названия подводных гор							
	г. Суйко		г. Нинтоку		г. Оджин		г. Лира	
	№ пробы							
	33-9	36-4	35-1	35-3	37-2а	38-1	38-2а	38-2
Cu	0,024	0,022	0,040	0,036	0,078	0,060	0,050	0,035
Zn	0,055	0,047	0,047	0,051	0,100	0,110	0,081	0,049
Pb	0,13	0,25	0,23	0,23	0,11	0,18	0,23	0,22
Co	0,21	0,51	0,57	0,58	0,48	0,51	0,41	0,71
Ni	0,14	0,40	0,39	0,45	1,10	0,94	0,78	0,46
Cr	0,004	0,004	0,005	0,003	0,075	0,004	0,003	0,005
V	0,082	0,090	0,085	0,084	0,077	0,073	0,073	0,079
Cd	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0110	0,0100	0,0004	0,0004
Sr	0,15	0,16	0,16	0,17	0,12	0,12	0,14	0,15
Ba	0,120	0,100	0,100	0,100	0,240	0,170	0,130	0,083
Rb	0,0003	0,0002	0,0003	0,0002	0,0012	0,0005	0,0005	0,0002
Cs	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Mo	0,078	0,0100	0,100	0,090	0,090	0,120	0,120	0,100

На северо-западном склоне горы Нинтоку с глубины 1400 м был поднят образец железомарганцевой корки размером 35×20×12 см уплощенно-округлой формы толщиной 3–7 см. Верхняя поверхность представлена почковидной марганцевой коркой. В нижней части образец сложен конгломератовидным скоплением обломков базальта разной степени измененности, покрытых темнокоричневыми, бурыми налетами оксидов железа и сцементированных черной массой оксидов марганца. Между обломками видны и пустоты размером до нескольких сантиметров, и каверны. Местами отмечаются землистые налеты рентгенаморфного марганца и желтые пятна оксидов железа. На сколе видно, что марганцевая корка неравномерным слоем от 3 до 25 мм перекрывает и цементирует обломки пород, покрытых тонкой коричнево-бурой пленкой оксидов железа. В марганцевой корке отмечается слабовыраженная тонкая слоистость. Контакт корки с обломками пород неровный, повторяет изгибы поверхности обломков, часто наблюдается тонкая желтая пленка оксидов железа.

Западный склон горы Оджин, глубина 1100 м. Драгой поднято около 25 кг грубообломочного материала — окатанного (от гравия до валунов 10–20 см) и остроугольного, судя по свежему сколу, коренного. Практически все псефиты покрыты тонкой марганцевой коркой (от 0,1 до 0,5 мм). На остроугольном обломке базальта размером 20×12×10 см ее толщина достигает 3 см, цвет корки черный, поверхность блестящая. Под ней находится зона изменения базальта светлосерого цвета с желтоватым оттенком, мощностью до 5 см. Далее цвет породы постепенно изменяется до темносерого.

Интенсивность измененности базальта падает по мере удаления от поверхности.

На западном склоне подводной горы Лира с глубины 1100 м получен образец размером 18×12×8 см, полностью представленный марганцевой коркой черного цвета, с блестящей поверхностью, в верхней части несколько выпуклой. Мощность корки 10 см. По всей толщине наблюдается отчетливая слоистость. Нижний край рыхлый, сыпучий. Кроме описанного образца, было поднято около 10 кг железомарганцевых корок различной степени измельченности, толщиной от 1 до 8 см.

Анализ вещественного состава конкреционно-корковых образований показал более высокие содержания кобальта по сравнению с глубоководными железомарганцевыми конкрециями Тихого океана и подтвердил вывод о приуроченности богатых кобальтом корок к подводным горам и другим поднятиям рельефа с высокоокислительными условиями [3]. В то же время, сумма концентраций никеля и кобальта в корках мало отличается от конкреций — 0,35–1,58% в корковых образованиях и 0,45–1,42% в глубоководных конкрециях [1]. Подобные результаты по Ni и Co отмечены и в сравнении состава корок Императорского хребта и железомарганцевых конкреций подводного поднятия Сьерра-Леоне в Атлантическом океане [2].

Обращает на себя внимание существенное различие в содержаниях меди: максимальные значения — 1,02% в конкрециях центральной части Тихого океана [1] и 0,078% в корках подводных гор Императорского хребта. Следует отметить, что содержания Ni и Co в коренных базальтах Северо-Западного хребта приблизительно на два порядка отличаются от корковых образований (0,001–0,007% Co; 0,002–0,014% Ni в базальтах и 0,21–0,71% Co; 0,40–1,10% Ni в корках), что ставит под сомнение возможность образования корок в процессе преобразования первичных пород.

Происхождение кобальтмарганцевых конкреционно-корковых образований подводных гор Императорского хребта определяется, по нашему мнению, влиянием наложенных процессов, в частности поствулканической гидротермальной деятельностью, связанной с активными секущими разломами северо-западного и северо-восточного простираний (Императорским, Кроноцким, Авачинским и др.). Подводными наблюдениями установлена приуроченность наиболее мощных корковых образований к тектоническим уступам, понижениям и перегибам рельефа, зонам дробления, трещиноватости и другим подобным морфоструктурам в верхних частях склонов и на вершинах подводных гор хребта.

1. Гасик М. И. Железомарганцевые конкреции Мирового океана: юрисдикция, геология, геохимия, металлургия // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2005. — № 1. — С. 34–50.

2. Геворкьян В. Х., Чугунный Ю. Г., Сорокин А. Л. Геологические аспекты биологической продуктивности океана. — Мурманское книжное издательство, 1990. — 186 с.

3. Рой С. Месторождения марганца. — М.: Мир, 1986. — 520 с.

4. Тектоника северо-западной части Тихого океана. — М.: Наука, 1983. — 118 с.

5. Удинцев Г. Б. Тихий океан. Т. 5. Геоморфология и тектоника дна Тихого океана. — М.: Наука, 1972. — 394 с.



6. *Bergman E. A., Solomon S. C.* Oceanic intraplate earthquakes: implications for local and regional intraplate stress // *J. Geophys. Res.*, В.— 1980.— Vol. 85, No 10.— P. 5389–5410.

7. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington.— D.C.: U.S. Govern. Print. Office, 1980.— Vol. 55.— 868 p.

8. *Jackson E. D., Koizumi J., Dalrymple G. B.* Introduction and summary of results from DSDP Leg 55, the Hawaiian-Emperor hot-spot experiment.— Initial Reports of the DSDP. Wash.: U.S. Govern. Print. Office, 1980.— Vol. 55.— P. 5–11.

Розглядаються умови утворення, хімічний склад залізомарганцевих конкреційно-коркових утворень з високим вмістом кобальту, які виявлені на підводних горах Імператорського хребта в Тихому океані. За допомогою глибоководного населеного апарату отримані дані про приуроченість рудних корок до зон поствулканічної гідро-термальної діяльності, тектонічних форм рельєфу на схилах та вершинах підводних гір.

The authors consider the genesis conditions and chemical composition of iron-manganese concretion-crustal formations of high cobalt content those were found on the submarine mountains of the Emperor Ridge in the Pacific Ocean. The ore crusts are related to the zones of postvolcanic tectonic activity and tectonic landforms on the slopes and tops of submarine mountains that is proved by the data obtained with deep-sea manned vehicle.