

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕРИЯ В СКОПЛЕНИЯХ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОРКОВ РАЗЛИЧНОГО РАНГА НА МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОРАХ (ТИХИЙ ОКЕАН)

По результатам многоэлементного анализа кобальтоносных марганцевых корок Магеллановых гор методом ICP рассмотрены распределения редкоземельных элементов, и в первую очередь Се, в скоплениях корок различного ранга. Выявлены определенные закономерности в пределах рудного района Магеллановых гор, рудных полей отдельных гайотов, а также в разрезе самих корок. Сделано предположение, что за особенности распределения редкоземельных элементов ответственен гальмиролитический источник поставки материала. Повышение или понижение концентраций в значительной степени зависит от расстояния до источника поставки.

Введение

В области изучения океанического кобальтоносного железомарганцевого оруденения подводных гор за последние десятилетия достигнут существенный прогресс. Выявлены масштабы развития кобальтоносных марганцевых корок в Мировом океане, установлены районы, наиболее богатые корками, описаны условия локализации этого типа руд, исследованы их строение, свойства, минеральный и химический состав; в конце концов, выявлены основные закономерности геологического строения месторождений корок [3–9, 12, 13]. В то же время, нельзя считать, что уровень изученности объекта достаточен для проектирования в не столь далеком будущем добычных работ. И речь идет не только о детализации знаний о распределении ресурсов, а в дальнейшем запасов руд, о горно-геологических условиях их залегания и технологических свойствах. По большому счету, дискуссионным остается генезис корок, химический и минеральный состав известны лишь в общих чертах. В частности, слабо изучено распределение возможных попутных компонентов, которыми могут являться некоторые редкие и редкоземельные элементы, возможно, благородные металлы.

Широкое применение новых аналитических методов при исследовании твердых полезных ископаемых Мирового океана позволяет во многом восполнить имеющиеся пробелы и рассмотреть вопросы, которые ранее и не ставились в связи со сложностью и трудоемкостью их решения при неясной перспективе получения результатов. Использование многоэлементного анализа методом ICP-AES и ICP-MS дает возможность изучить распределение большого числа химических элементов, а систематическое его применение – выявить закономерности этих распределений для естественных рудных скоплений различного иерархического уровня.

В представленной статье рассмотрено поведение церия в кобальтоносных марганцевых корках Магеллановых гор Тихого океана. Этот элемент выбран, с одной стороны, потому, что редкие земли являются потенциальным попутным

полезным компонентом корковых океанических руд, с другой – на примере цезия достаточно уверенно выявляются определенные тенденции его распространения на разных уровнях организации вещества.

Методика работ

Материал (пробы кобальтоносных железомарганцевых корок) отобран на гайотах Магеллановых гор (Тихий океан) в рамках геолого-геофизических исследований, проводившихся ГНЦ «Южморгеология» с борта НИС «Геленджик» в 2001–2005 гг. (рис. 1). В состав работ входило многолучевое эхолотирование, фототелевизионное профилирование и геологическое опробование (преимущественно скальными драгами). Анализировался материал рядовых и частных проб.

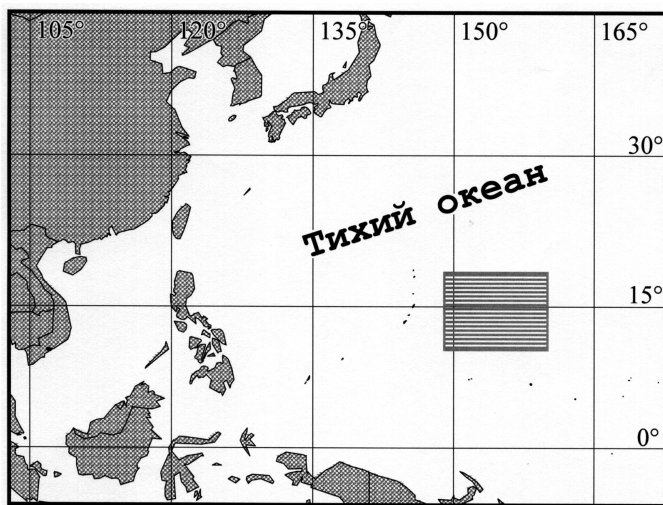


Рис. 1. Обзорная схема района работ. Прямоугольником обозначен район Магеллановых гор в рамках рис. 2

Первые характеризуют состав рудных образований в целом по станции опробования, вторые отбирались для исследования корок на различных типах субстрата, различных слоев корок и решения других частных задач.

Химический анализ основных полезных компонентов производился в Центральной аналитической лаборатории ГНЦ «Южморгеология» под руководством П.И. Курилова.

Содержания железа, кобальта, никеля, меди определялись атомно-абсорбционным методом. Марганец – методом потенциметрического титрования. Контроль правильности определения металлов в пробах осуществлялся с помощью стандартных образцов.

Широкий спектр компонентов в кобальтоносных марганцевых образованиях определялся методом ICP. Использовались методы: масс-спектральный с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) с применением квадрупольного масс-спектрометра «Plasma Quard» («VG», Англия) и атомно-эмиссионного спектрометра ICP-61. Определены концентрации 62-х элементов, включая редкоземельные (14 элементов), благородные (Au, Ag, Pt, Rh, Pd, Os), радиоактивные (Th и U) и другие.

Результаты

Проведенные исследования показали, что корки на подводных горах залегают в виде тонких (от миллиметров до 10–12, реже 15 см и более) покровов гидроксидов железа и марганца на обнаженных консолидированных породах. К единичным подводным горам приурочены рудные поля корок, в пределах которых обычно выделяется несколько рудных залежей [9]. В разрезе корок выделяется несколько слоев, соответствующих разным генерациям рудного вещества. Разрез корок Магеллановых гор, в основном, состоит из четырех слоев – по-

зднепалеоценового-раннеэоценового (слой I-1), средне-позднеэоценового (слой I-2), миоценового (слой II), плиоцен-четвертичного (слой III). Слои обладают индивидуальными отличительными признаками строения и состава; геологический возраст определен по составу содержащихся в них комплексах кокколитофорид [9, 10].

В минеральном составе корок с небольшими вариациями по всему разрезу преобладают Fe-вернадит и Mn-ферроксицит, при этом примесной нерудный компонент в разных слоях различен – в двух нижних преобладают фосфаты и карбонаты, в слое II – широкий комплекс аутигенных и эдафогенных минералов (глинистые, цеолиты, полевые шпаты, пироксены и другие), в слое III – кварц.

В составе кобальтоносных марганцевых корок выявлены концентрации более 70 химических элементов [3]. Средний химический состав корок Магеллановых гор по нашим данным приведен в табл. 1. Традиционно основными компо-

Таблица 1

Химический состав кобальтоносных марганцевых корок Магеллановых гор

| Компонент | Среднее, %, г/т | Вариация, % | Выборка | Компонент | Среднее, %, г/т | Вариация, % | Выборка |
|-------------------------------|-----------------|-------------|---------|-----------|-----------------|-------------|---------|
| Марганец | 21.13 | 13 | 803 | Телур | 57 | 35 | 309 |
| Железо | 16.28 | 13 | 794 | Цезий | 0.5 | 48 | 309 |
| Кобальт | 0.58 | 23 | 803 | Барий | 1528 | 21 | 309 |
| Никель | 0.44 | 18 | 803 | Лантан | 272 | 19 | 309 |
| Медь | 0.12 | 26 | 803 | Церий | 972 | 25 | 309 |
| P ₂ O ₅ | 2.75 | 71 | 631 | Празеодим | 52 | 20 | 309 |
| Mn/Fe | 1.31 | 17 | 793 | Неодим | 212 | 21 | 309 |
| Литий | 4.7 | 56 | 305 | Самарий | 43 | 21 | 309 |
| Бериллий | 5.8 | 38 | 309 | Европий | 11 | 19 | 309 |
| Скандий | 10.4 | 37 | 309 | Гадолиний | 55 | 21 | 309 |
| Ванадий | 529 | 13 | 247 | Тербий | 7.7 | 18 | 309 |
| Хром | 17 | 107 | 309 | Диспрозий | 46 | 21 | 309 |
| Цинк | 555 | 16 | 309 | Гольмий | 9.6 | 19 | 309 |
| Галлий | 14 | 66 | 309 | Эрбий | 28 | 20 | 309 |
| Мышьяк | 193 | 59 | 309 | Тулий | 4.0 | 18 | 309 |
| Селен | 5.9 | 49 | 190 | Иттербий | 26 | 20 | 309 |
| Рубидий | 9.2 | 44 | 309 | Лютеций | 4.1 | 20 | 309 |
| Стронций | 1278 | 14 | 309 | Гафний | 4.2 | 96 | 309 |
| Итрий | 230 | 32 | 309 | Тантал | 0.6 | 69 | 309 |
| Цирконий | 321 | 93 | 309 | Вольфрам | 62 | 29 | 309 |
| Ниобий | 40 | 53 | 309 | Талий | 124 | 25 | 309 |
| Молибден | 383 | 20 | 309 | Свинец | 1166 | 20 | 309 |
| Кадмий | 3.9 | 47 | 309 | Висмут | 35 | 30 | 309 |
| Олово | 8.5 | 38 | 309 | Торий | 13 | 39 | 309 |
| Сурьма | 39 | 23 | 309 | Уран | 11 | 23 | 309 |

Примечание: Концентрации компонентов от марганца до P₂O₅ даны в процентах, для остальных – в граммах на тонну

нентами корок и конкреций считаются марганец, железо, кобальт, никель и медь. Очевидно, что, говоря о составе этих рудных образований, нельзя забывать о доле нерудных компонентов. Концентрации оксида фосфора (V), как видно из таблицы, составляют 2,75 %. Также существенный вклад вносят оксид кальция (II) – около 7,0 %, кремнезем – около 8,0 %, глинозем – 2,5 %. Концентрации более процента создают натрий, магний, титан. Среди других элементов, включая ред-

кие и рассеянные, существуют создающие концентрации менее 1 г/т (благородные металлы, Cs, Ta), от 1 до 10 г/т (Li, Rb, Be, Se, Hf), от 10 до 100 г/т (Sc, Cr, Ga, Nb, Sb, Te, W, Bi, Th, U), от 100 до 1000 г/т (V, Zn, As, Y, Zr, Mo, Tl) и свыше 1000 г/т (K, S, Sr, Ba, Pb). То же касается и элементов группы редких земель. Содержаниями от 1 до 10 г/т характеризуются Tb, Ho, Tm, Lu, от 10 до 100 г/т – Pr, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, от 100 до 1000 г/т – La, Ce, Nd. Следует добавить, что церий в корках отдельных гайотов дает концентрации свыше 1 кг/т. Среднее суммарное содержание редких земель превышает 1,7 кг/т, а по отдельным гайотам может превышать 2 кг/т.

Распределение суммы редких земель в корках Магеллановых гор дает весьма четкую закономерность – наблюдается устойчивое снижение их концентраций с северо-запада на юго-восток, причем средние содержания в корках падают почти вдвое – от 2020 г/т по гайоту Говорова на северо-западе до 1037 г/т по гайоту Бутакова на юго-востоке. Сходная картина отмечается и в распределении церия – элемента, дающего более половины этой суммы, – 1167 г/т (г. Говорова), 1106 г/т (г. Альба) – 981 г/т (г. Федорова) – 892 г/т (г. Ита-Май-Тай) – до 567 г/т (г. Бутакова) (рис. 2, табл. 2). Еще более высокое содержание церия – 1194 г/т отмечено в корках

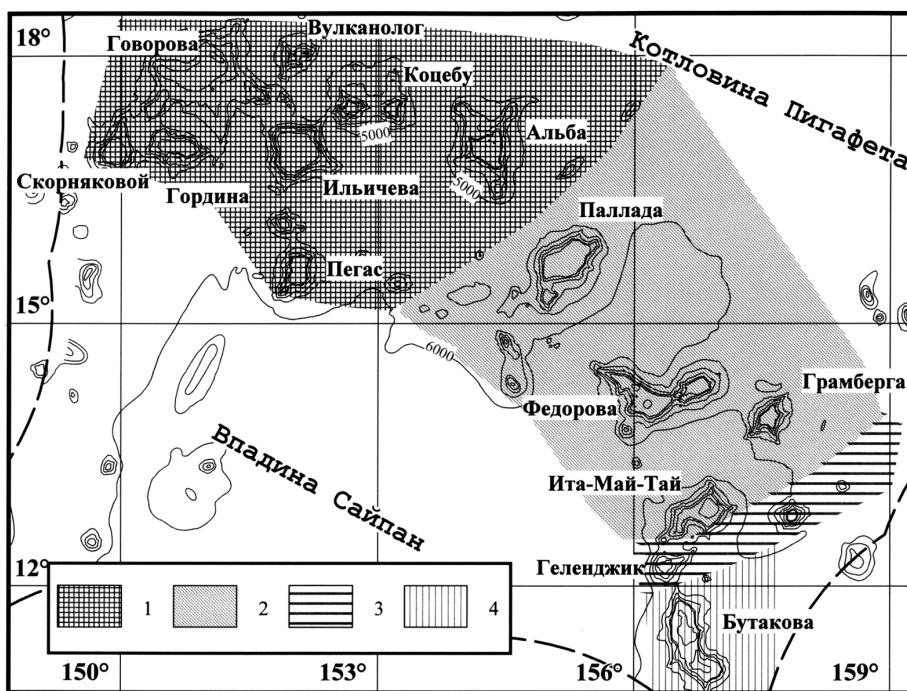


Рис. 2. Распределение церия в кобальтоносных марганцевых корках Магеллановых гор. Цифрами показаны различные концентрации церия в корках, г/т: 1 – свыше 1000, 2 – от 800 до 1000, 3 – от 600 до 800, 4 – менее 600; изобаты на батиметрической основе проведены через 1000 м

гайота Ильичева, однако, это значение получено по ограниченной выборке. Для других редкоземельных элементов тенденция также прослеживается – снижение их концентраций в корках с запада на восток составляет от 1,7 до 2,1 раз. Некоторое различие заметно в том, что максимальные концентрации редких земель группы церия, в основном, фиксируются в корках гайота Говорова, а группы

Таблица 2

Средние содержания редкоземельных элементов и иттрия в корках разных гайотов Магеллановых гор

| Гайоты | Содержания редкоземельных элементов, г/т | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--|-----|------|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Du | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| Говорова, 20 | 286 | 319 | 1167 | 60 | 232 | 48 | 12 | 59 | 8 | 48 | 9 | 26 | 4 | 24 | 4 |
| Ильичева, 8 | 309 | 309 | 1194 | 54 | 220 | 45 | 11 | 59 | 8 | 48 | 10 | 28 | 4 | 26 | 4 |
| Коцебу, 10 | 310 | 306 | 1116 | 54 | 215 | 44 | 11 | 57 | 8 | 46 | 9 | 26 | 4 | 24 | 4 |
| Пегас, 7 | 269 | 293 | 1007 | 51 | 221 | 45 | 12 | 60 | 9 | 52 | 11 | 31 | 5 | 30 | 5 |
| Альба, 53 | 258 | 279 | 1106 | 56 | 226 | 46 | 11 | 60 | 8 | 50 | 10 | 30 | 4 | 29 | 5 |
| Паллада, 23 | 207 | 264 | 890 | 49 | 202 | 42 | 10 | 56 | 8 | 43 | 9 | 26 | 4 | 23 | 4 |
| Федорова, 133 | 261 | 268 | 981 | 52 | 210 | 43 | 10 | 56 | 7 | 47 | 10 | 30 | 4 | 28 | 4 |
| Грамберга, 17 | 262 | 252 | 888 | 47 | 201 | 42 | 10 | 54 | 8 | 46 | 10 | 29 | 4 | 28 | 5 |
| Ита-Май-Тай, 52 | 216 | 274 | 892 | 50 | 206 | 42 | 10 | 52 | 8 | 45 | 9 | 27 | 4 | 25 | 4 |
| Геленджик, 26 | 197 | 250 | 789 | 45 | 185 | 37 | 9 | 45 | 7 | 39 | 8 | 23 | 3 | 22 | 3 |
| Бутакова, 12 | 129 | 177 | 567 | 33 | 124 | 25 | 7 | 31 | 5 | 26 | 6 | 18 | 2 | 14 | 2 |

Примечание: После названия гайота указана величина выборки

Таблица 3

Средние содержания основных рудных компонентов в рудных полях корок различных гайотов Магеллановых гор

| Рудные поля гайотов | Содержание основных рудных компонентов | | | | | | | | | | n |
|---------------------|--|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-----|
| | Mn | | Fe | | Co | | Ni | | Cu | | |
| | C, % | V, % | C, % | V, % | C, % | V, % | C, % | V, % | C, % | V, % | |
| Говорова | 21.57 | 12 | 16.75 | 16 | 0.54 | 21 | 0.41 | 14 | 0.124 | 16 | 36 |
| Ильичева | 20.53 | 19 | 15.40 | 18 | 0.53 | 29 | 0.44 | 25 | 0.129 | 23 | 14 |
| Коцебу | 20.07 | 21 | 15.86 | 13 | 0.56 | 21 | 0.45 | 28 | 0.122 | 30 | 32 |
| Пегас | 22.12 | 9 | 16.46 | 15 | 0.55 | 21 | 0.49 | 14 | 0.120 | 15 | 10 |
| Альба | 20.83 | 12 | 16.68 | 11 | 0.59 | 19 | 0.43 | 18 | 0.120 | 26 | 188 |
| Паллада | 20.82 | 12 | 16.52 | 10 | 0.57 | 21 | 0.43 | 16 | 0.118 | 29 | 71 |
| Федорова | 21.39 | 12 | 15.95 | 13 | 0.58 | 23 | 0.44 | 16 | 0.122 | 14 | 267 |
| Грамберга | 21.21 | 10 | 16.04 | 11 | 0.60 | 18 | 0.47 | 13 | 0.105 | 35 | 67 |
| Ита-Май-Тай | 21.80 | 10 | 16.89 | 9 | 0.57 | 17 | 0.45 | 14 | 0.131 | 25 | 96 |
| Геленджик | 21.53 | 10 | 16.70 | 9 | 0.56 | 18 | 0.45 | 13 | 0.127 | 23 | 40 |
| Бутакова | 20.97 | 11 | 17.33 | 11 | 0.51 | 19 | 0.44 | 12 | 0.135 | 20 | 12 |

Примечание: здесь и далее С – среднее значение, V – вариации, n – величина выборки

иттрия – гайота Пегас, также принадлежащего западному участку Магеллановых гор. Для самого иттрия это снижение концентраций происходит в 2,4 раза, а максимум отмечен в корках гайота Коцебу, соседнем с гайотом Говорова.

Для основных металлов корок – Mn, Fe, Co, Ni – ничего подобного не наблюдается – ни закономерности в латеральной изменчивости, ни столь суще-

ственного разброса значений (табл. 3). Изменчивость средних содержаний всех этих компонентов не превышает 9 % относительных.

Определенные закономерности отмечаются в распределении церия и на более высоком иерархическом уровне – в корках рудных полей отдельных гайотов. Поскольку средний уровень содержаний существенно изменяется от гайота к гайоту, для описания распределения использовались статистические категории – средние значения (С) и стандартные отклонения (S). Группы значений разделены на максимальные ($> C+2S$), высокие (от $C+S$ до $C+2S$), повышенные (от C до $C+S$), пониженные (от $C-S$ до C), низкие (от $C-2S$ до $C-S$) и минимальные ($< C-2S$). При поверхностном взгляде может сложиться впечатление, что распределение церия сходно с распределением в корках основных полезных компонентов – Mn, Co, Ni, – то есть, их содержания имеют сильную положительную корреляцию с гидродинамической активностью придонных вод и, соответственно, максимальные и высокие концентрации отмечаются в корках, развитых на выступах рельефа дна – отрогах, осложняющих конусах и куполах или в седловинах, а минимальные и низкие – в областях гидродинамического затишья. Однако более детальное изучение распределений показывает, что это не совсем так, если не сказать, что совсем не так. В пределах отрогов, конусов и куполов, других выступов могут встречаться как максимальные и высокие, так и низкие и минимальные значения. Кроме того, нередко отмечается общее изменение фоновых содержаний от пониженных до повышенных в корках склонов различных экспозиций.

На гайоте Грамберга повышенные значения церия тяготеют к корковым залежам склонов западной экспозиции, включая юго-западный отрог, на котором фиксируются высокие и максимальные значения. Пониженные значения преобладают на склонах восточной экспозиции (рис. 3). Следует обратить внимание на тот факт, что среди магматических пород, слагающих западный склон, преобладают щелочные оливиновые базальты, восточный же сложен преимущественно пикритами. На поверхностях гайота обнажены и осадочные породы – известняки, брекчии, в том числе и являющиеся субстратами корок. Однако, на этом гайоте они распространены ограниченно. Кроме того, весьма сложно проследить закономерности изменения состава корок от состава осадочных пород.

На гайоте Геленджик максимальные, высокие и повышенные значения отмечаются в корках на юго-западном склоне и северо-восточном отроге в единой полосе северо-восточного простирания, а пониженные – в корках всех северо-западных и юго-восточных склонов (рис. 4). Значения выше среднего здесь также в основном приурочены к зонам развития щелочных оливиновых базальтов, а ниже среднего – к трахибазальтам и пикритам. Но более интересным представляется другой факт – на близко расположенных вулканических конусах, имеющих разный геологический возраст, фиксируются различные значения. Максимальные отмечены в корках, развитых на конусе плиоценового возраста, повышенные – раннеэоценового, пониженные – маастрихтского, низкие – среднеэоценового.

Подобные закономерности отмечены и в корках других гайотов. На гайоте Ита-Май-Тай высокие и повышенные значения концентраций церия имеют место на северном и юго-восточном склонах, а низкие и пониженные – на северо-восточном и западном. Здесь более 70 % значений выше среднего тяготеют к полям развития трахибазальтов. Для значений ниже среднего четких зависимостей не отмечено. В корках гайота Паллада на большей части поверхностей всех склонов

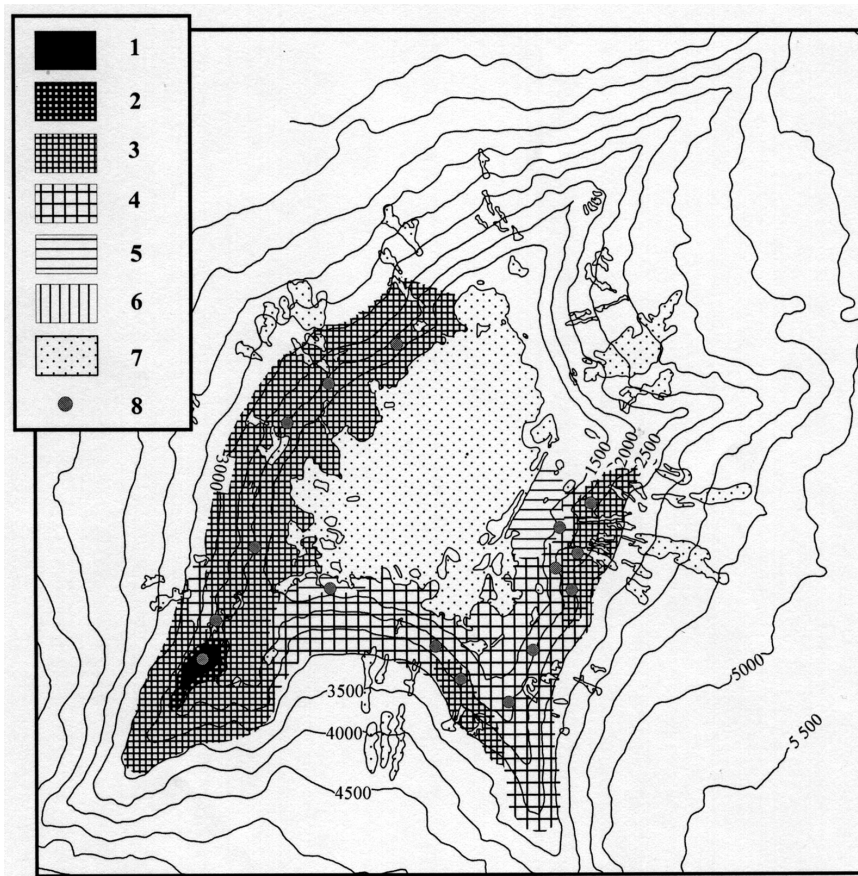


Рис. 3. Распределение церия в корках гайота Грамберга

1 – 6 – содержания церия в градациях: 1 – более C+2S, 2 – от C+S до C+2S, 3 – от C до C+S, 4 – от C-S до C, 5 – от C-2S до C- S, 6 – менее C-2S; 7 – безрудные зоны, 8 – точки опробования с определением содержания редких земель в рядовых пробах корок. Изобаты проведены через 500 м

фиксируются преимущественно пониженные и низкие значения, все же высокие и повышенные сосредоточены на трех участках – двух выступах восточного склона и в седловине между основным гайотом и южным гайотом-сателлитом. Три четверти пониженных и низких значений на гайоте Паллада приурочены к участкам развития трахибазальтов.

Определенные закономерности можно выделить, переходя на еще более высокий уровень и рассматривая закономерности распределения церия в корках отдельных рудных залежей, выделяемых в пределах рудных полей. Они, как правило, приурочены к отдельным крупным формам рельефа. Например, в корках юго-западного отрога гайота Альба повышенные значения фиксируются на гребневой поверхности отрога до глубин 2500 м, а также прослеживаются к северу на западном склоне, где встречаются и максимальные значения (рис. 5). Пониженные содержания фиксируются в корках, покрывающих борта отрога, глубже 2500 м. К сожалению, здесь данные о геологическом строении гайота значительно более генерализованы, чем данные о составе корок, поэтому приходится ограничиваться констатацией геоморфологической приуроченности значений.

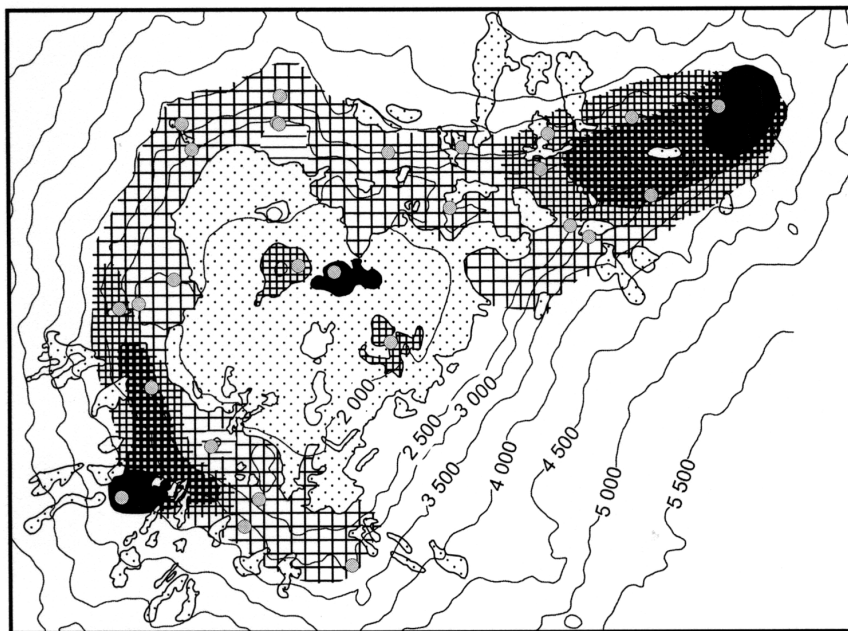


Рис. 4. Распределение церия в корках гейзера Геленджик. Условные обозначения см. к рис. 3

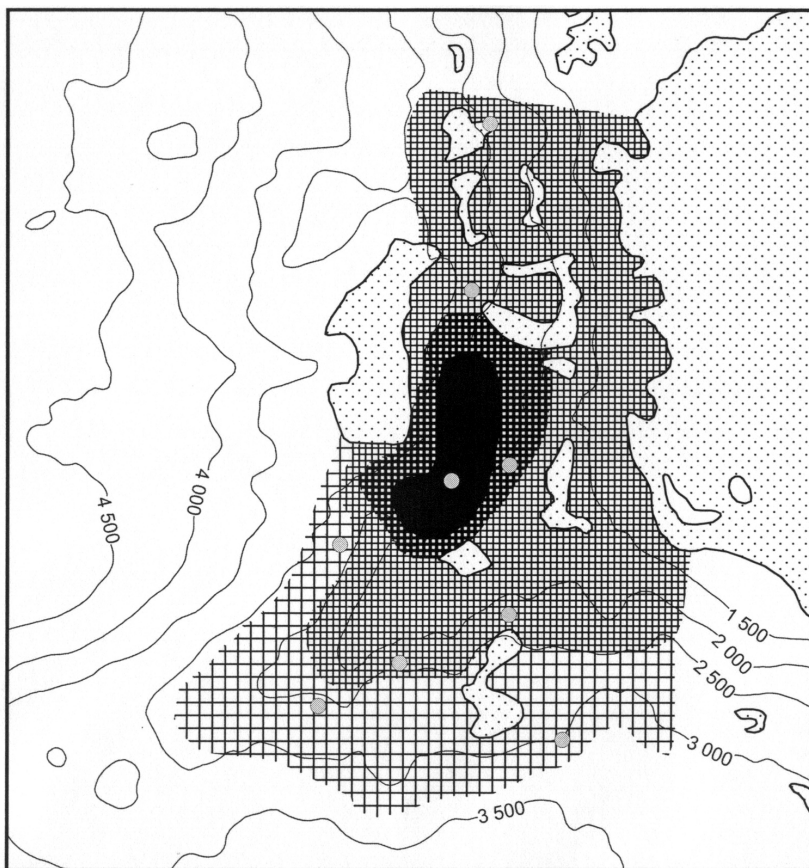


Рис. 5. Распределение церия в корках залежи юго-западного отрога гайота Альба. Условные обозначения см. к рис. 3

В седловине гайота Федорова повышенные значения концентраций церия фиксируются в корках ее базисной поверхности, а также на южном и северном бортах седловины. Повышенные значения отмечаются и в примыкающих к бортам склонах западной и восточной построек гайота в интервале 2000 – 2700 м. Внутри этой обширной зоны локализованы высокие и максимальные значения, причем максимальные отмечаются только на южных склонах. Пониженные и низкие значения отмечены в корках, покрывающих участки западной и восточной построек, примыкающих к седловине на глубинах менее 2000 м.

Рассмотренные распределения церия в корках объектов различного иерархического уровня дают возможность убедиться, что существуют определенные закономерности, контролируемые эти распределения. Не обнаружена связь различных гидро- и литодинамических обстановок участков дна с закономерностями концентрации элемента. Поэтому логично предположить, что они определяются особенностями геологического строения объектов, к которым приурочены. Это могут быть особенности тектонического строения, магматизма, строения разреза осадочных пород. Безусловно, установить четкие зависимости распределения концентраций церия от таких особенностей не удалось. Однако, очевидно, что состав магматических пород, слагающих поверхности гайотов в районах локализации корковых залежей, определенным образом сказывается на содержании рассматриваемого элемента в корках.

Есть возможность рассмотреть распределение церия и по разрезу корок, то есть на еще одном уровне организации вещества. Ранее нами установлено, что два нижних слоя корок Магеллановых гор – слои I-1 и I-2 – максимально обогащены карбонатно-фосфатным компонентом и характеризуются пониженными концентрациями полезных компонентов – Mn, Co, Ni, Cu [9, 10]. Противоположная ситуация в двух верхних слоях – II и III. В табл. 4 приведены составы слоев на достаточно представительных выборках, сформированных за годы проведения исследований. Максимальные концентрации марганца, железа и кобальта фиксируются в верхнем слое III, а никеля и меди, а также титана – в слое II. От нижних слоев к верхним повышается железистость рудного материала, что сказывается не только в повышении концентраций железа, но и в уменьшении зна-

Таблица 4

Химический состав слоев кобальтоносных марганцевых корок Магеллановых гор

| Компонент | Состав слоев корок | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|------|----|--------------|------|-----|--------------|------|-----|--------------|------|-----|
| | Слой I-1 | | | Слой I-2 | | | Слой II | | | Слой III | | |
| | C, % | V, % | n | C, % | V, % | n | C, % | V, % | n | C, % | V, % | n |
| Железо | 12.40 | 22 | 89 | 11.17 | 26 | 106 | 17.10 | 14 | 131 | 17.69 | 10 | 139 |
| Марганец | 21.95 | 15 | 89 | 17.96 | 20 | 107 | 22.35 | 13 | 131 | 23.67 | 13 | 140 |
| Кобальт | 0.41 | 23 | 89 | 0.32 | 31 | 107 | 0.52 | 24 | 131 | 0.65 | 24 | 140 |
| Никель | 0.42 | 29 | 89 | 0.45 | 31 | 107 | 0.50 | 22 | 131 | 0.47 | 22 | 140 |
| Медь | 0.117 | 31 | 88 | 0.143 | 27 | 107 | 0.168 | 27 | 131 | 0.103 | 45 | 140 |
| P ₂ O ₂ | 6.93 | 38 | 84 | 9.74 | 47 | 97 | 1.60 | 74 | 123 | 1.21 | 65 | 128 |
| Молибден | 0.065 | 16 | 18 | 0.046 | 26 | 21 | 0.046 | 21 | 43 | 0.050 | 20 | 59 |
| TiO ₂ | 0.79 | 66 | 37 | 0.72 | 56 | 51 | 1.82 | 17 | 60 | 1.77 | 18 | 64 |
| Цинк | 0.073 | 22 | 22 | 0.064 | 23 | 21 | 0.071 | 13 | 37 | 0.063 | 25 | 38 |
| Свинец | 0.184 | 22 | 22 | 0.105 | 36 | 21 | 0.122 | 16 | 37 | 0.150 | 16 | 38 |
| Mn/Fe | 1.85 | 26 | 89 | 1.68 | 25 | 106 | 1.35 | 25 | 130 | 1.34 | 19 | 139 |

чений марганцевого модуля. Следует обратить внимание, что, несмотря на разубоженность рудного вещества слоя I-1 фосфатным компонентом, в нем отмечаются максимальные концентрации молибдена, цинка и свинца. Проведение анализа методом ICP-MS показало, что максимальные содержания в слое I-1 проявляют также стронций, барий, ванадий, висмут.

То же касается и ряда редкоземельных элементов, распределение по слоям которых показано в табл. 5. Высокие концентрации церия не позволяют

Таблица 5

**Содержания редкоземельных элементов и иттрия по слоям корок гайотов
Магеллановых гор**

| Статистические характеристики | Компоненты | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|-----|------|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Du | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| I-1, n=17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Среднее, г/т | 308 | 345 | 1634 | 56 | 219 | 42 | 10 | 63 | 8 | 49 | 11 | 34 | 5 | 33 | 5 |
| Вариация, % | 31 | 17 | 18 | 18 | 19 | 20 | 15 | 14 | 21 | 25 | 27 | 30 | 26 | 30 | 34 |
| I-2, n=27 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Среднее, г/т | 393 | 294 | 953 | 51 | 209 | 43 | 11 | 61 | 8 | 53 | 12 | 38 | 5 | 36 | 6 |
| Вариация, % | 32 | 23 | 24 | 36 | 39 | 44 | 42 | 37 | 49 | 53 | 51 | 50 | 48 | 53 | 51 |
| II, n=24 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Среднее, г/т | 231 | 257 | 903 | 50 | 202 | 43 | 10 | 57 | 8 | 46 | 10 | 30 | 4 | 29 | 5 |
| Вариация, % | 35 | 17 | 22 | 16 | 16 | 16 | 14 | 16 | 17 | 20 | 23 | 24 | 23 | 26 | 27 |
| III, n=22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Среднее, г/т | 189 | 290 | 881 | 60 | 237 | 52 | 12 | 65 | 9 | 55 | 12 | 33 | 5 | 32 | 5 |
| Вариация, % | 20 | 17 | 29 | 22 | 21 | 23 | 22 | 21 | 21 | 25 | 29 | 31 | 29 | 39 | 40 |

представить спектр распределения редких земель в графической форме, именно поэтому спектр приводится в виде таблицы. Некоторые элементы концентрируются преимущественно в верхнем слое – это празеодим, неодим, самарий, гадолиний, диспрозий. Во втором слое для многих элементов группы редких земель фиксируются минимальные значения и ни для одного из них – максимальные. Интересно, что именно этот слой обладает наиболее высокой сорбционной емкостью, поэтому процесс обогащения редкими землями рудного вещества, вероятно, с сорбцией не связан. В слое I-2 максимально концентрируется иттрий, следующий за карбонатно-фосфатной составляющей, а также эрбий и иттербий. В слое I-1, являющимся основанием разреза корок, максимально концентрируются лантан и церий, а также ряд элементов демонстрирует повышенные значения содержаний. Однако, только церий проявляет такое наглядное тяготение к нижнему слою – его концентрации последовательно убывают к кровле (слою III), но уже в вышележащем слое I-2 они падают в 1,7 раза. Такая ситуация отмечена не только для корок Магеллановых гор в целом – она сохраняется на каждом из изученных гайотов.

Обсуждение

Присутствие редких земель в заметных количествах в железомарганцевых корках подводных поднятий обычно объясняют гидрогенным происхождением корок и поставкой в них редкоземельных элементов из морской воды [7]. Для обоснования нередко привлекают спектр распределения концентраций редких земель, нормированных по тому или иному составу пород сравнения, чаще всего по хондриту или глинистому сланцу. Большое значение придается наличию цериевой аномалии.

При построении спектров распределения редких земель мы нормировали их по среднему составу пород наиболее распространенных на гайотах Магеллановых гор, также установленному многоэлементным анализом методом ICP (рис. 6). Оче-

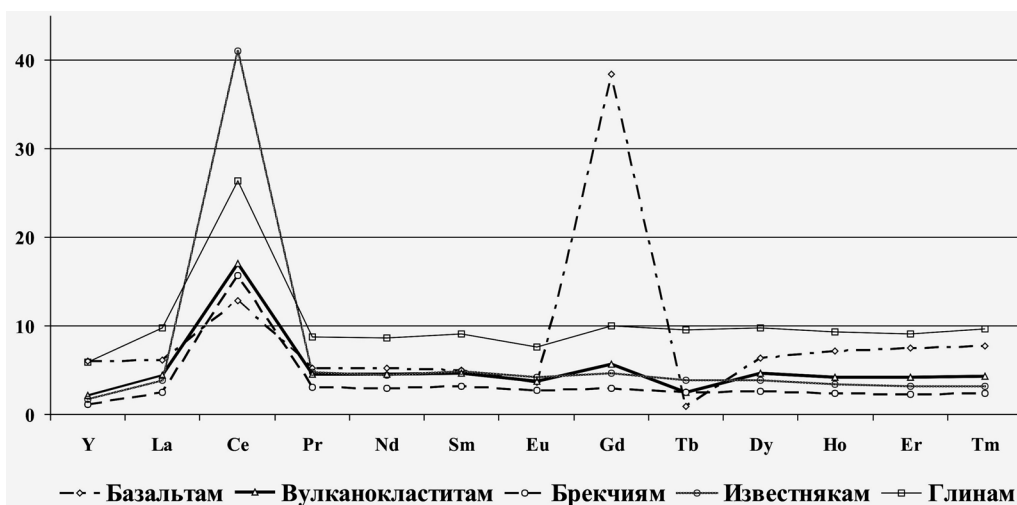


Рис. 6. Спектры распределения редких земель в корках Магеллановых гор. Различные графики показывают спектры, нормированные на средние содержания редких земель в различных породах Магеллановых гор

видно, что спектры, отнесенные к различным породам, весьма близки. Наиболее сильно цериевая аномалия проявлена при нормировании по известнякам, наименьшая амплитуда – при нормировании по базальтам. В последнем спектре наиболее отчетливо выражена гадолиниевая аномалия и отрицательные европиевая и тербиевая. Все три весьма слабо проявлены при нормировании по известнякам и брекчиям. В то же время вряд ли стоит придавать наличию цериевой аномалии слишком большое значение. В первую очередь она отражает способность церия достаточно легко менять валентность и переходить в нерастворимую форму. Хотя некоторые исследователи полагают, что она является признаком рудообразования на небольших глубинах или миграции церия на большие глубины в виде взвеси [4, 7]. Отрицательные аномалии европия и тербия нередко рассматриваются как признак минимального влияния гидротермального материала [7].

Отношение Ce/La колеблется в корках Магеллановых гор от 2,4 до 5,0, при среднем значении 3,58. Это отношение нередко используют как генетический показатель – значения выше 2,0 соответствуют гидрогенной поставке, менее 2,0 – терригенной; поступление гидротермального материала существенно понижает пока-

затель, а диагенетического из осадков – увеличивает [4, 7, 11]. Однако, в нашем случае этот подход вряд ли применим, поскольку диапазон значений тяготеет к диагенетическому источнику, доля которого при формировании корок исчезающе мала [9]. С другой стороны, диагенетический материал можно рассматривать как в какой-то степени родственной гальмиролитическому. По слоям средние значения этого показателя меняются следующим образом – в слое I-1 – 4,84, I-2 – 3,31, II – 3,53, III – 3,01. То есть, и по этому показателю слой I-1 существенно отличается от вышележащих и, гипотетически, в нем может быть более широко проявлено влияние диагенетического или гальмиролитического источников.

В.В. Авдонин и Н.Е. Сергеева, на основании сходства спектров распределения редких земель в корках гайотов Магеллановых гор и в гидротермальных корках Срединно-Атлантического хребта, находят в этом дополнительный аргумент в пользу влияния вулканогенного источника поставки компонентов [1]. Ранее, основываясь на особенностях соотношений редкоземельных элементов в корковых образованиях, о возможном влиянии гидротермального источника говорили и другие исследователи [4, 7]. Е.С. Базилевская, напротив, полагает, что гидротермальные корки в принципе не существуют, те же образования, которые принято считать таковыми, являются гидрогенными, испытавшими определенное влияние тектономагматических обстановок, однако, не в части привноса рудных компонентов, а в их перераспределении [2].

На наш взгляд, приведенный в статье фактический материал свидетельствует о наличии закономерностей различного уровня в распределении церия в скоплениях железомарганцевых корок Магеллановых гор. Такие закономерности сложно объяснить гидрогенной поставкой самого ли элемента, рудного ли вещества, формирующего корки. Объяснение возможно, если связывать поставку с гидротермальной деятельностью или, если смотреть шире, в целом с вулканической активностью. Тем более, что в распределении элемента усматривается определенная связь с распространенностью вулканических образований. Однако, проявление подобных процессов в пределах региона локально как в пространстве, так и во времени. Корки же развиты повсеместно на подводных горах.

Предпочтительней, впрочем, не отрицая и возможности вулканогенного влияния, представляется гальмиролитический источник поставки, то есть за счет компонентов, освобождающихся в процессе подводного выветривания горных пород, преимущественно также вулканических. Такой взгляд поддерживается и распределением церия по разрезу корок с его максимальным концентрированием в нижнем слое I-1. Возможность формирования кобальтоносных марганцевых корок за счет гальмиролитического источника рассмотрена нами ранее [9].

Выводы и заключение

Проведенные исследования позволяют сделать ряд наиболее общих выводов.

1. В пределах Магеллановых гор содержания редких земель в целом и церия в частности в кобальтоносных железомарганцевых корках последовательно падают в направлении с северо-запада на юго-восток почти вдвое. Наиболее простым объяснением такого факта представляется падение концентраций компонента с удалением от его источника. В этом случае источником может являться Марианская система желобов и поднятий, к которой и примыкают наиболее западные гайоты Магеллановых гор.

2. В пределах рудных полей отдельных гайотов Магеллановых гор в зонах развития определенных видов базальтов отмечается обогащение или обеднение корок церием. Причиной может являться поставка элемента из этих базальтов, однако, для утверждения этого с большей уверенностью данных явно недостаточно.

3. В разрезе самих корок церий максимально концентрируется в самом нижнем, позднепалеоценовом-раннеэоценовом, слое I-1. Содержания элемента в этом слое в 1,7 – 1,8 раз выше, чем в более поздних, перекрывающих слоях. В совокупности с другими приведенными данными, это наводит на мысль о гальмитическом источнике поставки элемента.

Изложенный материал показывает, что при изучении кобальтоносного железомарганцевого оруденения подводных гор следует большее внимание уделять изучению строения и состава геологических структур, к которым приурочены рудные скопления различного ранга. Это позволит более обоснованно судить о причинах формирования руд с теми или иными особенностями состава в скоплениях различного ранга, об источниках вещества и механизмах их формирования, не оперируя для объяснения локальных вариаций состава глобальными закономерностям массопереноса в Океане.

Морские и лабораторные работы выполнены в рамках государственных контрактов №№ ВК-02-06/322, ПС-02-06/1931 и 02/01/31-2.

1. Авдонин В.В., Сергеева Н.Е. Редкоземельные элементы в оксидных рудах океана // Изв. вузов, Геология и разведка, 2006. – № 6 – С. 24 – 28.
2. Базилевская Е.С. Исследование железо-марганцевых руд океана. М.: Наука, 2007, 189 с.
3. Батурин Г.Н. Руды океана. – М.: Наука, 1993. – 303 с.
4. Варенцов И.М. Mn-Fe-гидроксидные корки подводной горы Крылова: геохимия редкоземельных элементов, генезис. – Тр. Геол. Ин-та АН СССР, 1989. – № 436. – С. 194 – 209.
5. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др./ М.: Наука, 1995. – 368 с.
6. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана / Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.Б. и др./ М.: Наука, 1990. – 229 с.
7. Кобальтбогатые руды Мирового океана /Аникеева Л.И., Андреев С.И., Казакова В.Е. и др./ СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. – 167 с.
8. Кругляков В.В. Мельников М.Е., Голева Р.В. и др. Рудные корки подводных поднятий Мирового океана. Геленджик: ЦГГЭ, 1993. – 129 с.
9. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. – Геленджик: ГНЦ «Южморгеология», 2005. – 230 с.
10. Мельников М.Е., Пуляева И.А. Железомарганцевые корки поднятия Маркус-Уэйк и Магеллановых гор Тихого океана: строение, состав, возраст. – Тихоокеан. геология, - 1994. – № 4. – С. 13 – 27.
11. Elderfield H., Greaves N.J. Negative cerium anomalies in the rare earth element patterns of oceanic ferromanganese nodules // Earth and Planet. Scien. Letters. – 1981. – v. 55 – No 1. – P. 163 – 167.
12. Halbach P., Sattler C.-D., Teichmann F., Wahsner M. Cobalt-rich and platinum-bearing manganese crust deposits on seamounts: nature, formation and metal potential // Mar. Mining, 1989. – v. 8. – P. 23-39.
13. Hein J.R. Cobalt-rich ferromanganese crusts: global distribution, composition, origin, and research activities. – Workshop on mineral resources of the international seabed area. – Kingston, 2000. – 45 p.

За результатами багатоеlementного аналізу кобальтоносних залізоманганових корок Магеланових гір методом ІСР розглядається розподілення рідкоземельних елементів, і в першу чергу, церію, у скупченнях кірок різного рангу. Виявлено певні закономірності у межах рудного району Магеланових гір, рудних полів окремих гайотів, рудних покладів, а також у розрізі самих корок. Припускається, що за особливості розподілу рідкоземельних елементів відповідальне гальміролітичне джерело поставки матеріалу. Підвищення або зниження концентрацій значною мірою залежить від відстані до джерела поставки.

As a result of an ICP-based multi-element analysis of cobalt-bearing crusts of the Magellan Mountains, the distribution of TR elements, and in particular, the distribution of Ce in crust accumulations of various scales were studied. Some particular patterns were identified within of the ore province of the Magellan Mountains, the ore deposits and in the section of the crusts themselves. An assumption was made that such a distribution pattern of the TR elements was formed by a halmiolytic source of the material supply. Increased or reduced concentrations are, to a major degree, controlled by the proximity of the source of the material supply.