

УДК 552.2(263)

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ПОДНЯТИЯ МЕНДЕЛЕЕВА (СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН)

Е. С. Базилевская, С. Г. Сколотнев\*

Представлено академиком РАН М.А. Федонкиным 05.06.2017 г.

Поступило 07.06.2017 г.

В статье рассмотрен состав железо-марганцевых отложений (ЖМО), образующих наросты на обломках коренных пород поднятия Менделеева, собранных в 2016 году с помощью манипуляторов научно-исследовательской подводной лодки. В собранных ЖМО измерены концентрации Fe, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Sr и Pb. Анализ вариаций рудных элементов в составе изученных ЖМО показал, что они определяются: 1) высотой подводного рельефа: для более высокого рельефа характерны более высокие концентрации Co и Ni; 2) характером субстрата: в случае, если это туф, то при его изменении дополнительно в ЖМО поступают Mn и Zn; 3) участием донных илов: в случае обширного соприкосновения обломка-субстрата с илом под влиянием поровых вод в ЖМО привносятся дополнительно такие элементы, как Mn, Co и Ni, 4) химическими свойствами элементов: гидроокислы марганца концентрируют Co и Ni, гидроокислы железа — Cu и Zn.

*Ключевые слова:* железо-марганцевые корки, геохимия рудных элементов, поднятие Менделеева, Северный Ледовитый океан.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-56524865562-566>

В 2016 г. в рамках работ по сбору доказательной базы для обоснования Российской заявки в ООН по расширению внешней границы континентального шельфа России в Арктическом регионе было произведено опробование дна в двух районах поднятия Менделеева, расположенного в восточной части Северного Ледовитого океана: в его центральной (Полигон-1) и северной (Полигон-2, гора Трукшина) частях (рис. 1). Опробование осуществлено с помощью манипуляторов научно-исследовательской подводной лодки Минобороны России. Методика опробования описана в работе [1]. Получено несколько обломков и глыб от 8 см до 80 см в поперечнике, которые отобраны со скальных выступов и уступов дна и из осыпей, сформировавшихся над и под этими выходами коренных пород в результате их подводного разрушения. На Полигоне-1 работы производились в окрестностях точки с координатами 78°10,5' с.ш. и 174°48,5' з.д. в радиусе около 1,5 км, на Полигоне-2 — 83°05,5' с.ш. и 176°19,0' з.д. в радиусе около 2 км. В районах работ практически плоское подножие поднятия сменяется очень крутым

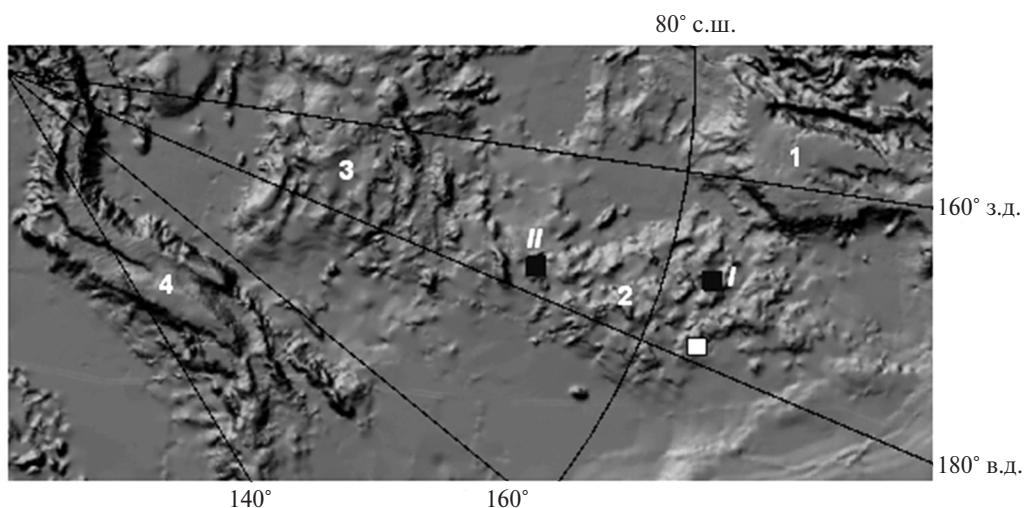
склоном: на горе Трукшина на глубинах 2700–2780 м, в центральной части поднятия — около 2350 м. В первом случае склон простирается до глубины 1235 м, во втором — 1200 м.

Поднятые обломки пород в той или иной степени покрыты железо-марганцевыми образованиями (ЖМО). В основном это тонкие налёты или корочки толщиной 1–2 мм (рис. 2), лишь в одном случае из осыпи над обрывом взята крупная конкреция эллипсоидальной формы диаметром около 26 см (обр. 1601/16) рис. 2. В конкреции мощное ядро диаметром около 15 см, сложенное андезито-базальтом, обросло тонкослоистой коркой Fe–Mn-окислов толщиной от 4 до 7 см. Для анализа использовались образцы, краткая характеристика которых приведена в табл. 1. Результаты атомно-абсорбционного определения химического состава образцов приведены в табл. 2.

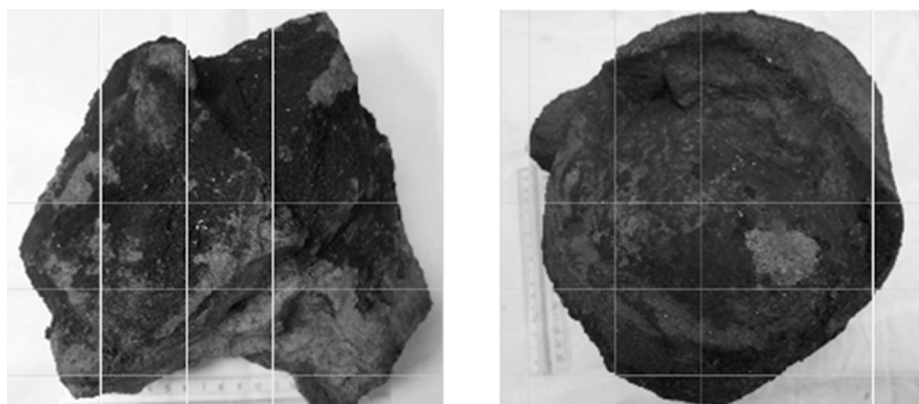
Как утверждают многие исследователи (например, [2, 3]), ЖМО являются потенциальными источниками ресурсов для Mn, Co, Ni и Cu. ЖМО, обогащённые этими элементами, обнаружены и на поднятии Менделеева [4, 5], что и определяет повышенный интерес к их изучению. Данная работа является продолжением изучения ЖМО поднятия

Геологический институт Российской Академии наук,  
Москва

\*E-mail: [sg\\_skol@mail.ru](mailto:sg_skol@mail.ru)



**Рис. 1.** Схема строения дна Восточной Арктики и положение полигонов опробования (чёрные квадраты). Построена на основе карты теневое рельефа дна, грид ИВСАО. Отмечены цифрами: арабскими: поднятия: 1 — Чукотское, 2 — Менделеева; хребты: 3 — Альфа, 4 — Ломоносова; римскими: I — Полигон-1, II — Полигон-2 (г. Трукшина). Белый квадрат — полигон опробования 2014 г. [1].



**Рис. 2.** Железо-марганцевые образования: левый рисунок — преобладающий тип ЖМО в виде тонких корочек (обр. 1602/04), правый рисунок — Fe–Mn-конкреция (обр. 1601/16), часть её Fe–Mn-корки отломана, видна округлая поверхность ядра конкреции. Длина масштабной линейки на рисунках — 15 см.

**Таблица 1.** Характеристика железо-марганцевых образований

Номер образца, полигон	Подстилающая порода	Толщина ЖМО	Глубина отбора, м	Характер залегания
1601/10 Полигон-1	Песчаник	1–2 мм	2100	Коренной выступ
1601/16 Полигон-1	Fe–Mn-конкреция с андезитом-базальтом в ядре	4–7 см	1960	Осыпь
1601/24 Полигон-1	Андезитом-базальт	1–2 мм	2200	Осыпь
1602/04 Полигон-2	Кластолава базальтового состава	1–2 мм	2160	Осыпь
1602/05 Полигон-2	Кластолава базальтового состава	1–2 мм	2160	Коренной выступ
1602/14 Полигон-2	Песчаник	1–2 мм	1990	Осыпь

**Таблица 2.** Концентрации рудных элементов (в %) в железо-марганцевых отложениях поднятия Менделеева

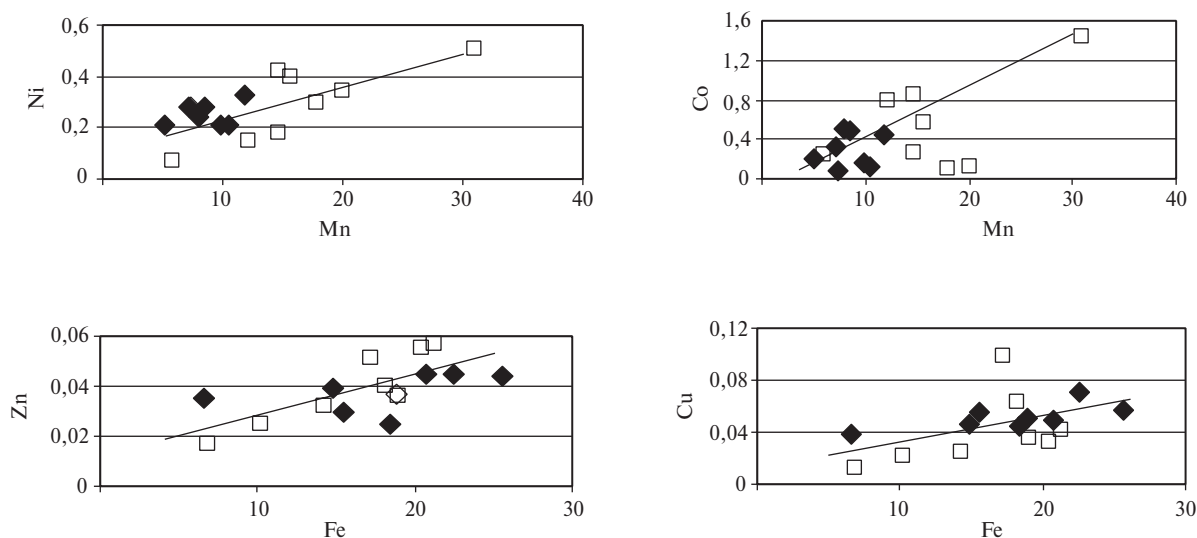
Образец	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Pb
1 1601/16 Верхний слой	22,5	11,8	0,07	0,045	0,44	0,33	0,003	0,067
2 1601/16 Средний слой	25,6	7,3	0,057	0,044	0,09	0,28	0,009	0,021
3 1601/16 Нижний слой	20,7	10,5	0,05	0,045	0,122	0,21	0,002	0,028
4 1601/10	18,9	9,8	0,051	0,037	0,156	0,21	0,003	0,028
5 1601/24	15,5	8	0,056	0,03	0,5	0,24	0,007	0,059
6 1602/04	14,8	7,1	0,046	0,039	0,33	0,28	0,006	0,035
7 1602/05	18,4	5,1	0,044	0,025	0,21	0,21	0,006	0,036
8 1602/14	6,6	8,5	0,038	0,035	0,48	0,28	0,003	0,036

Примечания. Определения выполнялись методом атомной абсорбции на спектрофотометре Квант-2А в пламени ацетилен-воздух. Для подготовки раствора навески пробы 0,25 г растворялись в 5 мл концентрированной соляной кислоты при нагревании до полного растворения. Затем раствор доводился деионизованной водой до 50 мл и фильтровался. Стандарты ЖМК СДО-5 и ЖМК-7. Стандартная ошибка определений составляет для Fe и Mn не более 5%, для остальных металлов не более 8–10%.

Менделеева, полученных в 2014 г. в его юго-западной части (рис. 1) [5]. В 2014 г. был обнаружен образец ЖМО с аномально высокими концентрациями Co (1,44%) и высокими Ni (0,5%). Таких концентраций этих элементов ранее не наблюдалось в ЖМО Мирового океана, даже в кобальтоносных корках Магеллановых гор (Co только до 0,65%, Ni — до 0,45%) [3]. Одновременно были встречены ЖМО с аномально высокими концентрациями Co (0,80–0,85%) и низкими Ni (0,15–0,18%) и наоборот. Всё это свидетельствует об аномальных и крайне неравномерных условиях отложения ЖМО на полигоне достаточно малой площади, хотя очень контрастного рельефа. Материалы 2016 г. значительно расширяют эту площадь. При этом в 2016 г.

не получены ЖМО с аномально высокими концентрациями Co и Ni, хотя найдены разности с довольно высокими значениями этих элементов, которые встречаются только в Тихом океане [3]. Следует отметить широкие вариации концентраций рудных элементов в ЖМО обоих полигонов.

В данной работе проведён анализ вариаций концентраций рудных элементов ЖМО во всей их коллекции, собранной за два года. Хорошие положительные корреляции вариаций концентраций отмечаются для следующих пар элементов: Mn–Ni, Mn–Zn, Fe–Cu, Fe–Zn (рис. 3). Такая корреляция имеется и в паре Mn–Co, за исключением двух образцов, подстилающим субстратом для которых является туф (обр. 1429 и 1426 [1, 5]). По сравнению



**Рис. 3.** Диаграммы ковариаций основных рудных элементов в железо-марганцевых образованиях поднятия Менделеева. Значения элементов по осям координат даны в %. Ромбы — образцы 2016 г. (табл. 2), квадраты — 2014 г. из [5].

с трендом корреляции в этих двух образцах наблюдаются повышенные концентрации Mn. Очевидно, что это связано с дополнительным привносом этого элемента из туфов, на которых располагаются ЖМО. Эти витрокластические туфы полностью замещены смектитами, а при смектитизации вулканического стекла из него выносятся Mn [6], который, очевидно, и оседал на поверхности породы.

Корреляция между поведением Co и Ni отсутствует.

На вариационных диаграммах Mn–Ni и Mn–Co верхнее положение корреляционного тренда занимают наиболее богатые этими элементами образцы 2014 г. Рельеф дна в районе полигона 2014 г. по сравнению с полигонами 2016 г. в среднем на 800–900 м выше. Наше изучение ЖМО Атлантики [7] показало, что те ЖМО, которые располагаются на подводных хребтах на гипсометрически более высоком уровне, всегда характеризуются более высокой концентрацией Co. По-видимому, и в случае с поднятием Менделеева этот фактор действенен. Вероятно, в какой-то степени фактор глубины отражается и на поведении Ni, но не сказывается на Cu и Pb. На диаграмме Mn–Zn высокое положение занимают ЖМО, связанные с выше указанными туфами. Вероятно, наряду с Mn из туфа при его подводном выветривании в значимых количествах выносятся и Zn.

Если рассмотреть положение на графиках гипсометрически близко расположенных образцов, то можно заметить, что те из них, которые имеют наиболее высокие концентрации Mn, Co и Ni либо были погружены в осадок, находясь в осыпи, либо так или иначе имели контакт с осадком и наоборот. Это означает, что при накоплении этих элементов в ЖМО важнейшую роль играло их поступление из осадка при участии поровых растворов.

Положительные корреляции в парах Fe–Cu, Fe–Zn отражают большее сродство Cu и Zn к гидроокислам железа по сравнению с гидроокислами марганца, поэтому эти элементы преимущественно адсорбируются первыми.

В мощной железо-марганцевой корке конкреции (рис. 2) химически изучены 3 слоя: верхний, средний и нижний (табл. 2), каждый мощностью примерно по 2 см. По концентрациям Mn и Fe составы этих слоёв близки, но по содержанию других рудных элементов верхний слой заметно выделяется резко более высокими концентрациями Co и Pb и значительно, но более высокими — Ni, Cu и Zn. Очевидно, что это связано с тем, что верхний слой со-

прикасается с осадком, из которого и привносятся дополнительно эти элементы.

Таким образом, вариации концентраций рудных элементов в составе изученных ЖМО определяются 1) высотой подводного рельефа: для более высокого рельефа характерны более высокие концентрации Co и Ni; 2) характером субстрата: в случае, если это туф, то при его изменении дополнительно в ЖМО поступают Mn и Zn; 3) участием донных илов: в случае обширного соприкосновения обломка-субстрата с илом под влиянием поровых вод в ЖМО привносятся дополнительно такие элементы, как Mn, Co и Ni; 4) химическими свойствами элементов: гидроокислы марганца концентрируют Co и Ni, гидроокислы железа — Cu и Zn.

Следовательно, аномально высокие концентрации Co и высокие Ni в ЖМО из юго-западной части поднятия Менделеева есть результат суперпозиции двух факторов: высокого подводного рельефа и химического влияния донных илов через поровые растворы на процесс образования ЖМО. В работе [5] также было сделано предположение, что илы в данном районе обогащены Co и Ni в силу близости района к богатым никеленосным месторождениям Российской Арктики.

**Источники финансирования.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 15–05–00497 и Программы Президиума РАН № 23, проект “Континентальная окраина Российского сектора Восточной Арктики: тектоника, магматизм, осадконакопление и природные ресурсы”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Корнийчук А.В. // ДАН. 2017. Т. 476. № 2. С. 190–196.
2. Аникеева Л.И., Казакова В.Е. В сб.: Кобальт-богатые руды Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология. 2002. С. 55–91.
3. Hein J.R., Mizell K., Koschinsky A., Conrad T.A. // Ore Geol. Rev. 2013. № 51. P. 1–14.
4. Батулин Г.Н., Дубинчук В.Т., Иванов Г.И., Сиравев А.И. // ДАН. 2014. Т. 458. № 4. С. 436–441.
5. Базилевская Е.С., Сколотнев С.Г. // ДАН. 2015. № 464. Т. 2. С. 1015–1017.
6. Коссовская А.Г., Петрова В.В., Шутов В.Д. // Литология и полезные ископаемые. 1982. № 4. С. 10–31.
7. Базилевская Е.С., Сколотнев С.Г., Пушаровский Ю.М. // ДАН. 1998. Т. 361. № 1. С. 77–80.

**NEW DATA CONCERNING THE FERROMANGANESE CRUSTS  
OF THE MENDELEEV RISE (ARCTIC OCEAN)****E. S. Bazilevskaya, S. G. Skolotnev***Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS M.A. Fedonkin June 5, 2017

Received June 7, 2017

The results of study of Fe-Mn crusts from the Mendeleev Rise in the Arctic Ocean in 2016 sampled with manipulators from a submarine are presented. Concentrations of Fe, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Cr and Pb are measured in collected Fe-Mn crusts. The variations in the content of these elements are determined by the chemical properties of the elements, the height of the underwater topography, the composition of the underlying substrate and the presence of bottom silt.

*Keywords:* ferro-manganese crusts, ore elements Geochemistry, Mendeleev Rise, Arctic ocean.