

УДК 551.464.32:551.35

ФОРМЫ ЗОЛОТА И ПЛАТИНЫ В ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ КОРКАХ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР (ТИХИЙ ОКЕАН)© 2004 г. **Е. В. Коноплева, Г. Н. Батулин, Р. В. Голева, В. Т. Дубинчук, М. Е. Мельников, Е. Г. Ожогина, В. М. Юбко**

Представлено академиком А.П. Лисицыным 16.02.2004 г.

Поступило 24.02.2004 г.

Железо-марганцевые (или, как их часто называют, рудные) корки на подводных горах являются одним из основных видов твердых полезных ископаемых Мирового океана. Характерной чертой состава корок является высокое содержание в них марганца, железа и ряда цветных, редких и благородных металлов, включая кобальт, никель, медь, цинк, а также редкие земли, платину и в меньшей степени золото [1]. По предшествующим данным, содержание в них золота составляет обычно 0.002–0.015 г/т и платины 0.1–4 г/т, в то время как среднее содержание этих металлов в осадочных породах и океанских осадках составляет соответственно 0.002 и 0.005 г/т [1–4].

Вопрос о форме нахождения и генезисе благородных металлов в рудных корках издавна привлекает внимание геохимиков, но пока не решен. Одни исследователи считают, что эти металлы извлекаются гидроксидами марганца и железа из морской воды и находятся в корках в ультрамалом сорбированном состоянии [5], другие полагают, что платиноиды и некоторые другие тяжелые металлы имеют внеземное происхождение и попадают в медленно растущие корки в составе “космогенных шариков”, которые давно уже были обнаружены в составе этих рудных образований [6]. Не исключают также версию магматического или гидротермального источника металлов [7, 8], но каждая из этих гипотез остается дискуссионной.

Настоящая работа посвящена описанию новых данных, касающихся содержания и конкретных форм нахождения золота и платины в железо-марганцевых корках Тихого океана.

Объектом исследования послужил материал четырех технологических проб массой от 235 до

487 кг, отобранных при драгировании вершин и склонов Магеллановых гор (гайоты ИОАН и Дальморгеология) на глубинах преимущественно 1.5–2.5 км в двух рейсах научно-исследовательского судна “Геленджик” в 2000–2002 гг. Общие сведения о геологии этого района приведены в [9].

Исследование корок и выделенных из них тяжелых и магнитных фракций проводилось во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья комплексом минералого-аналитических методов, включающим высоко-разрешающую оптическую микроскопию, рентгенографию, ИК-спектроскопию, аналитическую электронную микроскопию с микродифракцией и микрозондированием, рентгеноспектральный флуоресцентный анализ и ИСП-МС (индуктивно связанной плазмы с масс-спектрометрией). Содержание платины определялось комбинированным химическим и рентгеноспектральным методом, содержание золота – пробирным методом.

Мощность рассматриваемых корок колеблется от 2–5 до более 20 см. В их составе выделяется до 5 слоев, разделенных эрозионными поверхностями и различающихся по цвету, степени плотности и текстурно-структурным характеристикам. Наиболее типичными микроструктурами являются разнообразные глобулярные и колломорфные формы в сочетании с дендритовыми образованиями, порами и кавернами.

По химическому составу рассматриваемые корки сходны с аналогичными рудами из других районов Тихого океана и содержат: 31.0–37.5% MnO_2 ; 20.3–23.0% Fe_2O_3 ; 6.0–9.5% SiO_2 ; 0.7–2.1% Al_2O_3 ; 1.5–1.9% TiO_2 ; 1.9–2.1% Na_2O ; 0.6–0.8% K_2O ; 2.0–2.5% P_2O_5 ; 8.5–19.1% H_2O^- и 8.9–9.7% H_2O^+ . Содержание рудных и благородных металлов следующее: 0.45–0.70% Co; 0.37–0.43% Ni; 0.11–0.17% Cu; 0.010–0.125 г/т Au; 0.35–1.31 г/т Pt.

В минеральном составе корок преобладает вернадит (часто железистый), составляющий в среднем 65%. Содержание оксидов и гидроксидов железа (в основном гётит и ферроксигит) состав-

Всероссийский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, Москва

Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии наук, Москва

НИПИОкеангеология, Геленджик

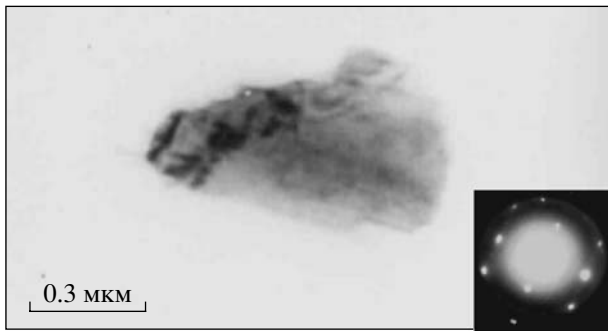


Рис. 1. Пластинка самородного золота длиной 0.8 мкм и ее микродифракционная картина (МДК). Проба 1, магнитная фракция, ПЭМ. (Здесь и далее: ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп, РЭМ – растровый электронный микроскоп.)

ляет в среднем 12, слоистых алюмосиликатов 10, карбонатов 5, фосфатов 2.5, кварца 1.3, акцессорных рудных минералов тяжелой фракции менее 1%.

При исследовании выделенной из образцов корок гравиметрическим методом тяжелой рудной фракции установлено, что в ее составе присутствуют шпинель, апатит, ксенотим, сульфиды, самородные металлы и интерметаллические соединения. Некоторые из этих минералов, в частности сульфиды, были ранее идентифицированы в основной массе рудных корок и глубокоководных железо-марганцевых конкреций преимущественно в виде микро- и ультрамикроскопических включений [1, 10–12].

Согласно результатам электронно-микроскопических исследований, в корках установлено самородное золото и гидроксид золота AuOOH.

Самородное золото присутствует в виде изолированных зерен удлинено-овальной формы длиной 0.8 мкм (рис. 1), а также в виде аналогичных по размеру зерен в микрозернистой массе вернадита, но чаще оно встречается в виде частиц размером 0.008–0.01 мкм на поверхности вернадитовых оолитов и на гётите.

Значительно более широко распространены выделения гидроксида золота, аналогичные тем, которые были описаны ранее в элювиальных россыпях Южного Урала [13]. В корках ультрамикроскопические частицы гидрата золота встречаются на разном субстрате – на слоистых алюмосиликатах, на шпинели, но чаще всего на гётите и вернадите (рис. 2). Наряду с этим золото присутствует в агрегатах сложного железо-полиметаллического состава, содержащих цинк, никель и медь.

Платина идентифицирована в корках при их просмотре как под оптическим, так и под электронным микроскопом. В частности, встречены единичные относительно крупные частицы платины, имеющие форму упругих пластинок разме-

ром порядка $1 \times 1 \times 0.1$ мм, тонких чешуек размером 1.3×0.5 мм и каплевидных образований длиной около 0.4 мм (рис. 3). Под электронным микроскопом платина установлена в основном в мелкочешуйчатых агрегатах слоистых алюмосиликатов – в виде включений неправильной формы размером около 0.1 мкм и в виде тонкодисперсных частиц.

Обнаружен также минеральный агрегат с ячеистой поверхностью размером 1×2 мкм, представляющий собой сросток шпинели и металлической фазы, обладающей гранцентрированной кубической структурой. Судя по микродифракционной картине, эта фаза является одним из элементов платиновой группы – иридием или палладием.

Судя по рентгеновским характеристическим спектрам в растровом электронном микроскопе, содержание платины значительно возрастает в тех участках корок, которые обогащены кальцием и фосфором (т.е., видимо, апатитовой фазой), но обеднены марганцем и железом.

В исследованном материале, как и в корках из других районов океана, встречаются “космогенные” шарики диаметром до 0.5 мм, которые обычно обогащены наряду с кобальтом и другими металлами, включая платину [1]. Однако в исследованном нами материале эти шарики оказались состоящими из чистого камасита (FeNi) без признаков наличия платины.

В целом приведенные данные показывают, что содержание золота в железо-марганцевых корках Магеллановых гор значительно выше по сравнению с аналогичными по основному химическому составу корками из других районов океана. Минералогически оно представлено гидроксидом золота и в меньшей степени самородным золотом и ассоциирует преимущественно с гидроксидами железа, находясь в ультрадисперсном состоянии.

Содержание самородной платины, нередко сопутствующей золоту, находится в исследованных корках в тех же пределах, что и в других районах океана. Платина также находится в ультрадисперсном состоянии, и лишь в нескольких случаях обнаружены частицы металла размером в доли миллиметра.

Предполагают, что поступление благородных металлов в железо-марганцевые корки может происходить как путем осаждения их из водной толщи, так и при контакте поверхности корок с омывающей их придонной водой.

Уменьшение содержания растворенной платины в глубинных водах по сравнению с верхними горизонтами свидетельствует, что существует механизм ее извлечения и осаждения в составе взвеси [14]. С другой стороны, высказывалось предположение, что платина может осаждаться на по-

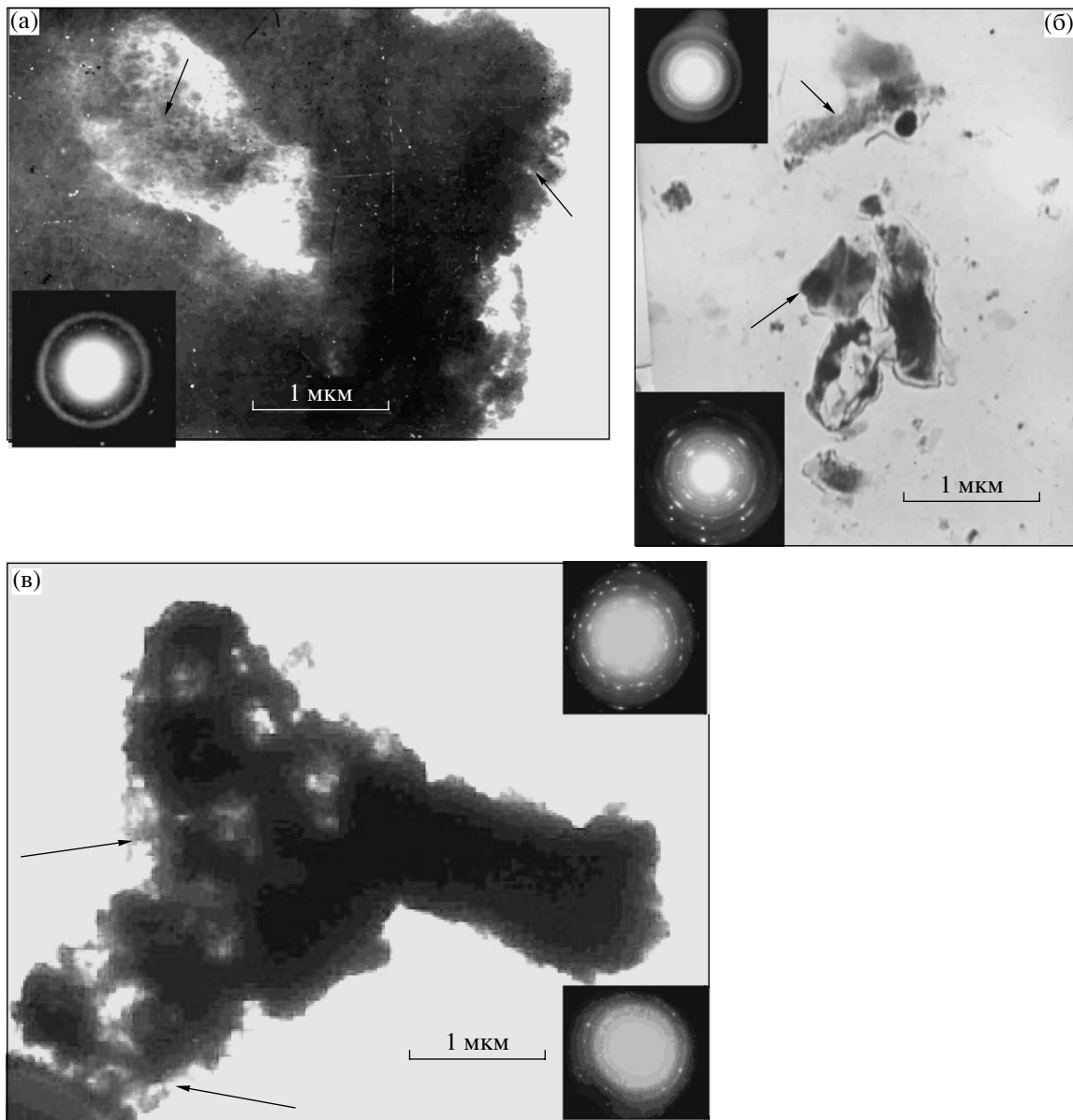


Рис. 2. Формы гидрата золота в минеральных агрегатах. а – гидрат золота (светлое) в чешуйчатом агрегате слоистого алюмосиликата, проба 1, магнитная фракция, ПЭМ, на врезке – МДК гидрата золота; б – гидрат золота и шпинель; проба 4, магнитная фракция, ПЭМ; на врезках – МДК гидрата золота (вверху) и шпинели (внизу); в – гидрат золота в гётите, проба 4, магнитная фракция, ПЭМ, на врезках – МДК гидрата золота (внизу) и гётита (вверху).

верхности корок благодаря ее восстановлению при переходе 2-валентного марганца в 4-валентный [15]. Но в связи с тем, что в изученных нами корках платина ассоциирует в основном не столько с марганцевой, сколько с фосфатной фазой (хотя и не связана с ней непосредственно), первое предположение представляется более реальным. Считается, что в восстановлении платины, находящейся в океанской воде в форме хлорида, до элементного состояния может играть роль органическое вещество, с которым связано фосфато-

накопление [1], причем следы органики в рудных корках видны под электронным микроскопом в виде графитизированных частиц.

Кроме того, ранее было показано, что в вертикальном разрезе корок с горы Шумана (Тихий океан), рост которых начался около 80 млн. лет назад, пики содержания платины также сопутствуют, но с небольшим смещением, эпизодам фосфатонакопления, с которыми связывают изменение физико-химической обстановки от окислительной к субокислительной, что должно способствовать

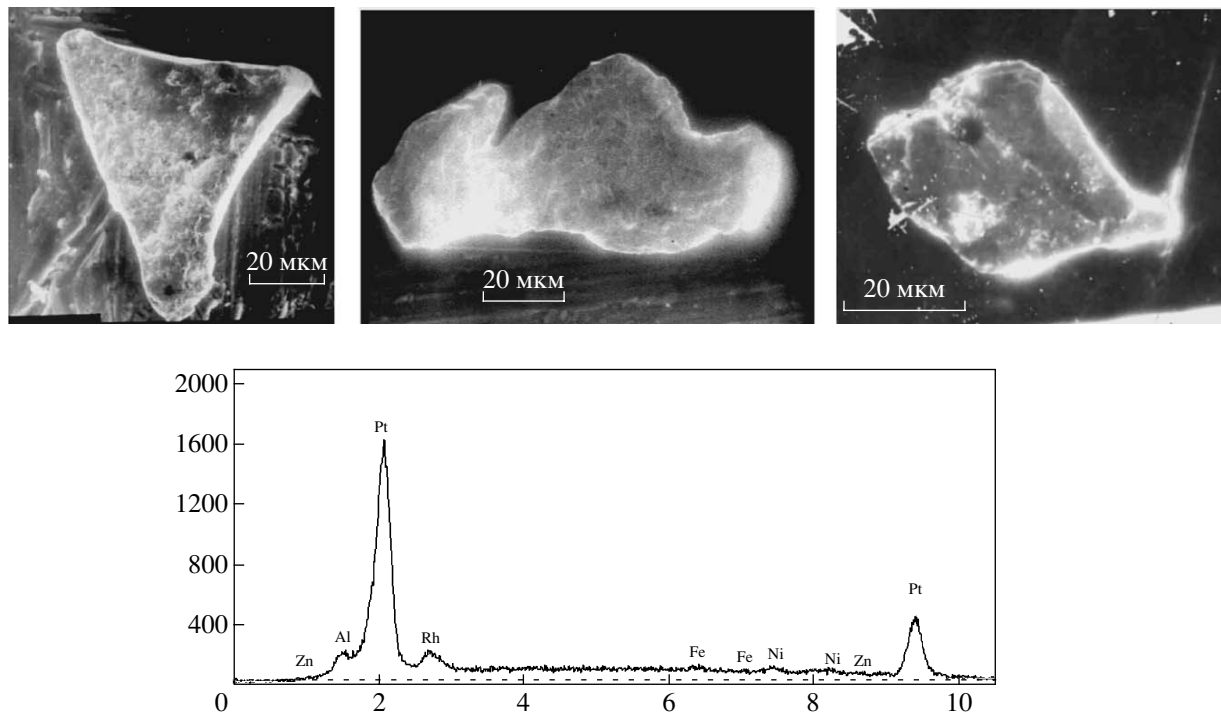


Рис. 3. Частицы самородной платины разной формы и их энергодисперсионный спектр. Проба 1, магнитная фракция, РЭМ.

восстановлению и осаждению платины из придонной воды [8].

Что же касается гипотезы космогенного происхождения платины в железо-марганцевых корках, то в данном случае она не подтверждается, поскольку в нашем образце космогенного камасита платина отсутствует. Но в тех случаях, когда в корках присутствует заметное количество обогащенного платиной космогенного материала, его общий вклад в баланс платины невелик. Об этом свидетельствует то, что отношение Pt/Ir в корках такое же, как в океанской воде, в то время как в космогенном материале оно, судя по имеющимся данным, многократно выше [8].

Вопрос о роли вулканогенно-гидротермально-го источника благородных металлов в железо-марганцевых корках находится в стадии изучения. Установлено также, что в некоторых горизонтах корок с подводной горы Шумана наблюдается аномально повышенное по сравнению с другими редкоземельными элементами содержание европия [9], что может служить показателем гидротермальной поставки материала. При этом сульфиды, осаждающиеся из гидротермальных растворов на дне океана, бывают обогащены золотом [1]. В связи с этим нельзя исключить того, что одним из источников золота в железо-марганцевых корках были поствулканические растворы, так как большая часть подводных гор имеет вулканическое происхождение.

Что касается происхождения частиц самородной платины и, возможно, интерметаллических соединений, то они могли попасть в состав корок вместе с обломками базальтоидного материала из подстилающего субстрата, поскольку отложения на подводных горах неоднократно подвергались размыву, о чем свидетельствуют поверхности несогласия в вертикальном разрезе корок.

Часть работы выполнена при поддержке РФФИ (проект 03-05-65400).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батурин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 304 с.
2. Landmesser C.W., Kroenke L.W., Glasby G.P. et al. // South Pacif. Mar. Geol. Notes. 1976. V. 1. № 3. P. 17–40.
3. Батурин Г.Н., Фишер Э.И., Курский А.Н., Пучкова Т.В. // ДАН. 1985. Т. 285. № 4. С. 992–996.
4. Батурин Г.Н., Фишер Э.И., Курский А.Н. и др. // Геохимия. 1986. № 6. С. 51–759.
5. Colodner D.C., Boyle E.A., Edmond J.M., Thomson J. // Nature. 1992. V. 358. P. 402–404.
6. Kozakevitch A. // C.R. Acad. sci. B. 1987. Т. 305. № 2. P. 105–108.
7. Vonderhaar D.L., McMurtry G.M., Garbe-Schonberg D. et al. // SEPM Spec. Publ. 2000. № 66. P. 287–308.
8. Рудаишевский Н.С., Крецер Ю.Л., Анисеева Л.И. и др. // ДАН. 2001. Т. 378. № 2. С. 246–249.

9. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Под ред. И.Н. Говорова, Г.Н. Батурина. М.: Наука, 1995. С. 245–265.
10. Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т. Микроструктуры железо-марганцевых конкреций океана. М.: Наука, 1989. 288 с.
11. Юбко В.М., Голева Р.В., Мельников М.Е. и др. // ДАН. 2002. Т. 384. № 6. С. 802–805.
12. Кобальтбогатые руды Мирового океана / Под ред. С.И. Андреева. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. 167 с.
13. Новгородова М.И., Трубкин Н.В., Генералов М.Е. // ДАН. 1995. Т. 344. № 4. С. 525–529.
14. Jacinto G.S., Van Den Berg C.M.G. // Nature. 1989. V. 338. № 6213. P. 332–334.
15. Halbach P. // Geol. Rdsch. 1986. Bd.75. H.1. S. 235–247.