

УДК 553.491:553.41

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ПЛАТИНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ (ЛЕНСКИЙ ЗОЛОТОРУДНЫЙ РАЙОН, РОССИЯ)

© 2003 г. В. В. Дистлер, М. А. Юдовская, Э. А. Развозжаева, А. В. Мохов,
Н. В. Трубкин, Г. Л. Митрофанов, В. К. Немеров

Представлено академиком И.Д. Рябчиковым 25.06.2003 г.

Поступило 03.07.2003 г.

В работах [1, 2] доказано существование в золотых рудах месторождения Сухой Лог (Ленский рудный район, Россия), крупнейшем в современной России месторождении золота, различных минеральных форм платиновых металлов, в том числе самородной платины, фаз системы Pt–Cu–Fe, сперрилита, куперита, минералов системы Pd–Bi. По результатам химического анализа богатых ЭПГ концентратов было предположено существование минеральных форм родия. На основе этих данных месторождение Сухой Лог стало классифицироваться как платино-золотое. Вместе с тем до сих пор не получена оценка количественной роли минеральных форм в общем балансе содержаний ЭПГ в рудах. Остается не оцененным возможное присутствие в рудах платиновых металлов, находящихся в химической связи с углеродом, что предполагалось в многочисленных предшествующих работах, в том числе в последнем исследовании [3]. Это предположение основывалось на невозможности химического определения содержаний ЭПГ и сложности выделения и идентификации минеральных форм ЭПГ. В работе [3] с целью определения связей ЭПГ с углеродистым веществом выполнено химическое фракционирование минерализованных черных сланцев с получением богатых углеродом фракций с содержанием $C_{орг}$ для различных проб от 53 до 92 мас. %. В полученных высокоуглеродистых фракциях определено содержание платины 300–1000 г/т [3]. Процедура получения высокоуглеро-

дистых концентратов включала последовательную обработку исходной пробы: отмучивание в воде с естественной флотацией тонкодисперсных фаз, обработку соляной кислотой с удалением карбонатов и части алюмосиликатов, обработку плавиковой кислотой с растворением кварца и силикатов и завершающую обработку азотной кислотой с удалением сульфидов. Богатый углеродом нерастворимый остаток назван авторами – нерастворимое углеродистое вещество (НУВ). Установлено, что в продуктах естественной флотации ЭПГ отсутствуют, а в продуктах последовательного кислотного фракционирования происходит их накопление.

В настоящей работе приводятся результаты изучения фазового состава этих высокоуглеродистых концентратов с содержанием $C_{орг}$ 91.78 и 53.31 мас. % и содержанием платины 500 и 1000 г/т соответственно.

Углеродистое вещество в концентратах по данным просвечивающей электронной микроскопии с микродифракцией электронов (JEM-100C) представлено керогеном, который состоит из двух разновидностей. Преобладающим является аморфное углеродистое вещество в виде агрегатов ультратонких овальных (600–1000 Å) частиц и натечных пленок. Распространены также агрегаты микрокристаллов графита. Кристаллы графита имеют форму мелких чешуек размером ~600 Å, хотя зоны монокристалльной дифракции, как показали темнопольные изображения, полученные в “дужке” 100 и 101 отражений, имели средний размер порядка 200 Å. Они формировали кольцевые картины дифракции электронов, на которых четко фиксировались только три отражения. При этом наиболее отчетливо проявлялся рефлекс 100, а следующий за ним рефлекс 101 не регистрировался. Это обстоятельство указывало на то, что кристаллы графита сильно “гофрированы” вдоль плоскости {001} его кристаллической решетки. В единичных случаях были обнару-

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва*

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Иркутск*

*Восточно-Сибирский научно-исследовательский
институт геологии, геофизики и минерального сырья,
Иркутск*

жены также крупные частицы графита закрученной шаровидной формы размером около 1 мкм.

Исследование химического состояния платины, выполненное методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (ESCA), показало, что в концентратах абсолютно доминирует нольвалентная платина с энергией связи 72 эВ, определенной по характеристической линии $4f\ 7/2$. На спектрограмме (рис.1) отчетливо фиксируется спин-дуплетная линия $4f\ 5/2$. Количество нольвалентной платины в пробе составляет до 5 ат. %. По морфологии спектральной линии какие-либо иные состояния платины не зафиксированы.

Наиболее детальные данные по фазовому составу платины получены в результате изучения высокоуглеродистых концентратов на сканирующем электронном микроскопе JSM-5300 с энергодисперсионным микроанализатором Link-ISIS. В наиболее богатом концентрате с содержанием платины 1000 г/т выявлены несколько сотен зерен самородной платины. Доминирующий размер платины составляет от 0.5 до 2 мкм, реже встречаются зерна и агрегаты зерен размером до 5–10 мкм. Максимальный размер достигает 30 мкм. Минимальный составляет десятые доли микрона и находится на пределе разрешающей способности данной модели электронного микроскопа. Мелкие частицы имеют неправильную форму. Более крупные (рис. 2а) представляют собой агрегат пластинчатых кристаллов с толщиной отдельных пластинок в десятые доли микрона. На граничных поверхностях зерен фиксируются структуры роста, подобные наблюдаемым на пластинчатых кристаллах природных золотосодержащих сплавов, формирующихся в результате роста из газовой фазы [4]. Принципиально важным является тот факт, что большинство зерен самородной платины с поверхности покрыты тонкочешуйчатыми агрегатами углеродистого вещества. Подобные фазовые соотношения ранее фиксировались и для выделений самородного золота, получившего название “черное золото”. По химическому составу самородная платина соответствует практически чистой платине (97–99 мас. %) с неравномерно распределенной примесью меди и железа (не более 3 мас. % в сумме $Cu + Fe$). Все эти данные позволяют считать, что обнаруженные зерна платины в углеродистом концентрате идентичны зернам платины, ранее обнаруженным нами непосредственно в рудах [1].

Наряду с сотнями зерен самородной платины встречены единичные выделения экзотического по составу платинового минерала системы Pt–Ti–Cl (рис. 2б). Минерал представлен агрегатом тонкопластинчатых зерен размером менее 1 мкм. Из-за малого размера зерен не удалось определить количественный химический состав минерала, однако полуколичественная оценка концентраций,

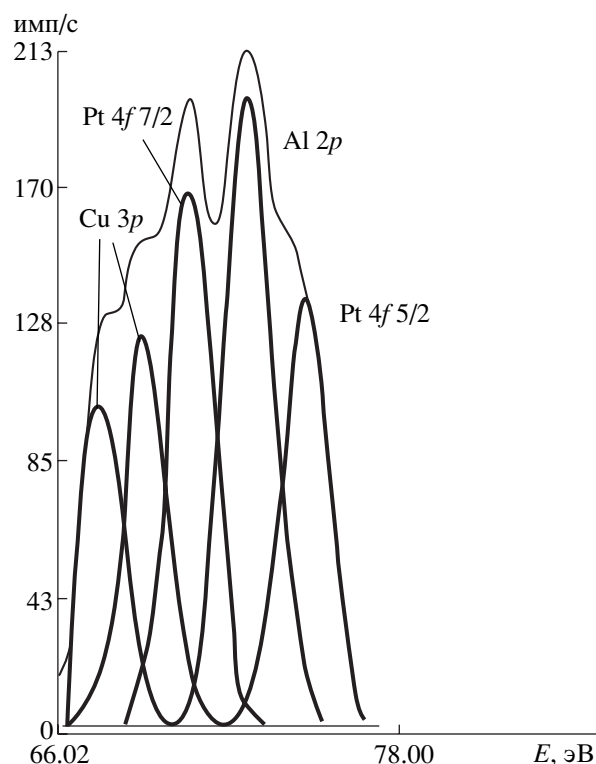


Рис. 1. СХА-спектр с характеристическими линиями платины $4f\ 7/2$ и $4f\ 5/2$ по данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (ESCA). Образец s278-1, участок Pt 4f.

основанная на соотношениях интенсивностей элементов в спектре, позволяет предположить возможную его формулу $PtTiCl_4$.

Помимо самородной платины в углеродистом концентрате установлены иные металлы в нольвалентном самородном состоянии. Впервые в месторождении Сухой Лог установлен самородный индий (рис. 2в). Минерал размером около 5 мкм найден в сростании с пиритом. Кроме того, в самородном состоянии установлены типичные для этих руд хром и золото.

Достаточно распространенным минералом данного концентрата является молибденит, образующий высокоидиоморфные гексагональные пластинчатые кристаллы и их агрегаты. Также впервые для руд Сухого Лога идентифицирован дисульфид рения (ReS_2) в виде тонкой пластинки размером около 2 мкм.

Как известно, молибденит, дисульфид рения, а также найденные самородные металлы устойчивы к кислотной обработке без нагревания, что позволило им вместе с углеродом сохраниться в исследуемых концентратах.

Следует подчеркнуть, что в этих же концентратах обнаружены в виде реликтов некоторые другие широко распространенные в рудах мине-

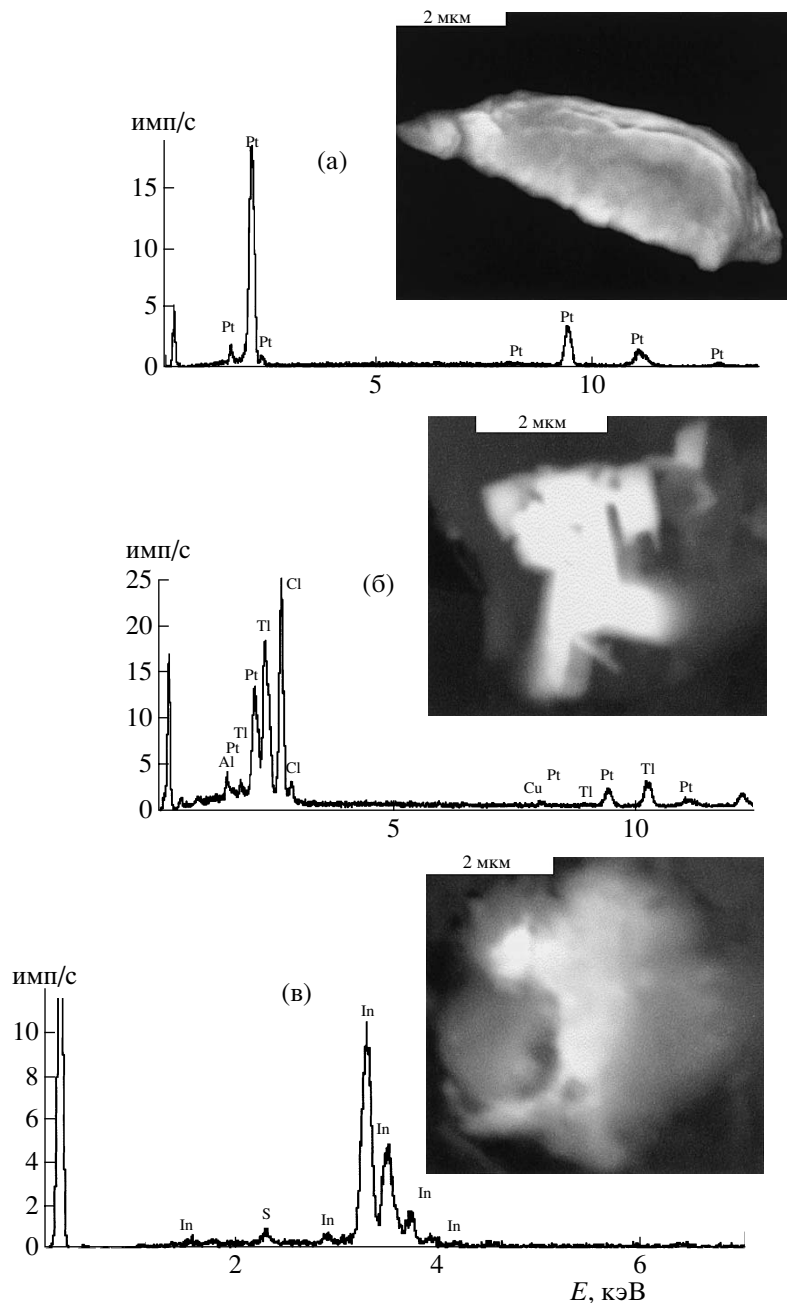


Рис. 2. Морфология зерен минералов ЭПГ и самородных металлов из высокоуглеродистых фракций месторождения Сухой Лог и их энергодисперсионные спектры составов. а – агрегат пластинчатых кристаллов самородной платины; б – сростание тонких пластинчатых кристаллов $PtCl_4$; в – сростание самородного индия (яркое) и пирита (светло-серое). Фон – углеродистое вещество. СЭМ.

ралы. К ним относятся пирит, Fe–Co-сульфоарсениды, рутил, ксенотим и карбонат. По-видимому, сохранность этих минералов связана с тем, что они находились в сростании с углеродистым веществом, экранирующим их при растворении.

Таким образом, полученные новые весьма представительные данные доказывают, что в рудах золото-платинового месторождения Сухой Лог платина кристаллизуется практически полностью в ви-

де самостоятельных минеральных фаз. Размер ее зерен, так же как и определенной части главного компонента руд – золота, в основном лежит в пределах 1–10 мкм. Накопление самородной платины в исследованном высокоуглеродистом концентрате исключительно является следствием ее, так же как и керогена, высокой кислотоустойчивости, а не общности их химического состояния. Последний вывод подтверждается отсутствием

платины в продукте естественной флотации тонкой фракции проб, представляющей собой смесь углеродистого вещества и серицита. Покрытие поверхности зерен самородных золота и платины тонкой пленкой углеродистого вещества, по-видимому, является одной из причин невоспроизводимости химического определения содержаний благородных металлов. Полученные данные являются ключом к пониманию причин аналитических трудностей при анализе платиноидов в углеродистых (черносланцевых) рудах и к разработке вариантов технологических схем обогащения платиноидов в рудах месторождений Сухоложского типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 01-05-64378).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л. и др.* // ДАН. 1997. Т. 355. № 5. С. 664–668.
2. *Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К. и др.* // Геология руд. месторождений. 1996. Т. 38. № 6. С. 467–484.
3. *Развозжаева Э.А., Прокофьев В.Ю., Спиридонов А.М. и др.* // Геология руд. месторождений. 2002. Т. 44. № 2. С. 116–124.
4. *Юдовская М.А., Дистлер В.В., Чаплыгин И.В. и др.* // ДАН. 2003. Т. 391. № 4. С. 535–539.