

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРЕРАБОТКУ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Н.А. Леоненко
Институт горного дела ДВО РАН,
г. Хабаровск

Рассмотрена возможность применения лазерных технологий для переработки техногенного минерального сырья. Исследовано взаимодействие лазерного излучения с техногенными золотосодержащими минеральными средами. Установлено образование самоорганизующихся структур золота на поверхности силикатной матрицы, выявлены общие закономерности агломерирования и концентрирования «неизвлекаемых форм» золота.

Ключевые слова: интегрирование, лазерное излучение, золото, структурная упорядоченность.

INTEGRATION OF LASER TECHNOLOGIES IN THE PROCESSING OF MINERAL RAW MATERIALS

N.A. Leonenko
Mining Institute of the FEB RAS,
Khabarovsk

The possibility of using laser technologies for processing technogenic mineral raw materials is considered. The interaction of laser radiation with man-made gold-containing mineral media has been studied. The formation of self-organizing gold structures on the surface of a silicate matrix was established, general patterns of agglomeration and concentration of "non-extractable forms" of gold were revealed.

Keywords: integration, laser radiation, gold, self-organizing.

Лазеры предоставляют уникальные возможности в технологиях обработки материалов, включая экстремальные значения плотности потока энергии и времени воздействия, высокую пространственную точность обработки и лёгкость управления лазерным инструментом. Когда, в середине прошлого века, будущие нобелевские лауреаты Николай Геннадиевич Басов, Александр Михайлович Прохоров и Чарлз Таунс создали первый мазер на аммиаке, а вслед за ними Теодор Мейман – первый в мире рубиновый лазер, ученым даже в голову не могло прийти такое обилие применений оптических квантовых генераторов, какое наблюдается ныне. Ч.Х. Таунс: «Лазерная оптика – активно развивающаяся область с огромным будущим, которое, однако, никто не может точно предсказать. Некоторые будущие направления применения лазеров можно предсказать достаточно точно, однако многие интересные приложения предвидеть нельзя» (Afanas'ev, 2000). Помимо применения для обработки металлов в автомобильной, авиационной промышленности,

порошковой металлургии, лазерные технологически комплексы начинают внедрять и в других отраслях: ликвидация последствий аварий и в тушении пожаров на нефтегазоносных скважинах (Парафонова, 2014), разрушение арктических льдов при проходке ледокольного флота (Агеев, 2017).

В Институте горного дела ДВО РАН проводятся исследования взаимодействия лазерного излучения с дисперсными золотосодержащими минеральными средами с целью использования для извлечения ценных компонентов при комплексной переработке минерального сырья, в том числе золота и других благородных металлов. При воздействии внешних потоков энергии на минеральные среды в них происходят структурные перестройки, вследствие чего их состояние становится далеким от термодинамического равновесия (Ванина, 2011). В работе применен иттербиевый оптоволоконный источник непрерывного лазерного излучения ЛС-06, изготовленный в Научно-Техническом Объединении «ИРЭ-Полус». Оптические характеристики экспериментальной установки следующие: мощность после выходного коннектора 600 Вт (в экспериментальной работе мощность задавалась от 60 до 300 Вт), режим работы непрерывный, частота модуляции выходной мощности до 5 кГц, спектральная ширина 4 нм, длина волны $\lambda=1070$ нм, выходной коннектор IPG Laser, QВН-типа, 50 мкм.

Объект исследования – минеральные среды, содержащие тонкодисперсное золото (глина, шлихи, модельное коллоидно-ионное золото), которые в насыпном виде, толщиной слоя 3 мм, помещались на специальную графитовую подложку. Над графитовой подложкой размещалась оптическая головка, благодаря которой создавалась возможность задавать параметры расфокусированного излучения. Кабель с иттербиевым оптоволоконном закреплен на входе оптической головки (желтый кабель на рис. 1). Лазерное излучение, пройдя по иттербиевому оптоволокну и через оптическую головку, размещенную вертикально и жестко закрепленную на штативе, попадало на исследуемые образцы (рис. 1). Движение подложки осуществлялось со скоростью 1 мм/с. Диаметр расфокусированного излучения подобран эмпирически и составил 7 мм.



Рис. 1. Экспериментальная установка иттербиевого волоконного лазера, модель ЛС-06

Электронно-микроскопическое исследование образцов проводилось на растровом электронном микроскопе «LEO EVO 40HV» (Карл Цейс, Германия). Для проведения локального качественного и количественного химического анализа минералогических объектов применен энергодисперсионный спектрометр «INCA-ENERGY». Чувствительность метода составляет ~0,1%. Ширина электронного пучка ~20-30 нм. Глубина проникновения электронного пучка ~ 1 мкм. Исходный вид исследуемого золотосодержащего дисперсного образца представлен на рисунке 2. Его основу составляют силикаты в виде кварца, цеолита, глины в виде монтмориллонита. Золотосодержащие частицы в исходных образцах присутствуют в тонкодисперсной и ультрадисперсной формах (шлихи, коллоидно-ионное золото).

Размер частиц дисперсного золота составлял менее 1-2 микрона. Процесс лазерной обработки образцов можно разделить на несколько этапов. На первом этапе происходит оплавление минеральных продуктов с низкой температурой плавления, образцы представляют собой поверхностно неоднородные силикатные на поверхности которых образуются обожженные сфероподобные агломераты из глинистых, алюмосиликатных частиц. Размерность агломератов зависит от диаметра расфокусированного излучения и от толщины насыпного слоя дисперсных минеральных объектов. На следующем этапе происходит плавление частиц золота. Ультрадисперсные частицы золота при этом выступают в качестве поверхностно-активного вещества по отношению к уже расплавившейся массе сопутствующих минеральных продуктов. На поверхностях алюмосиликатных сфер происходит осаждение оплавленных золотин (рис. 3).

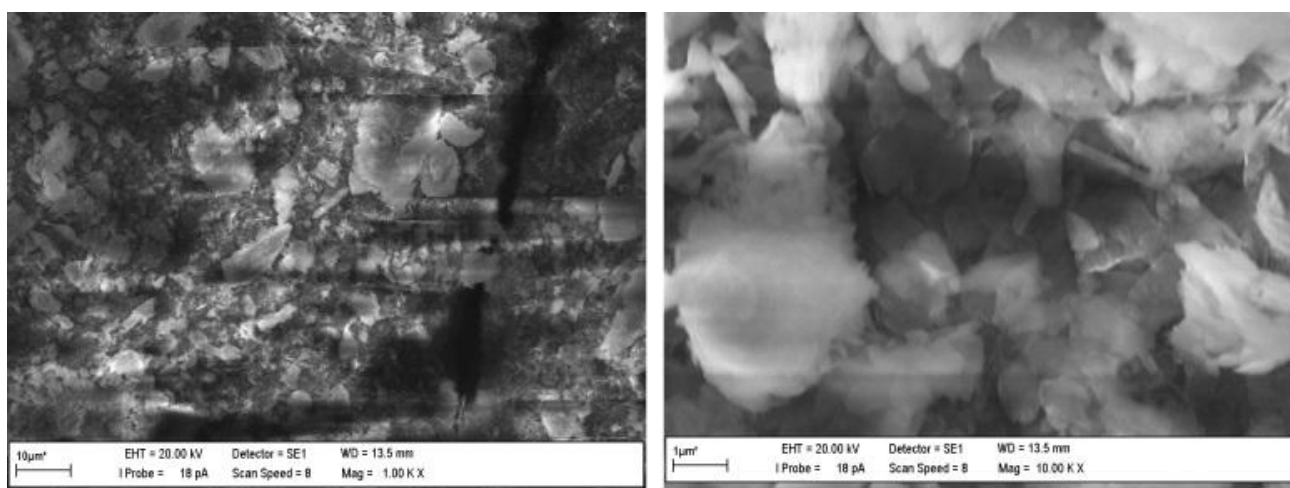


Рис. 2. Электронное изображение исходного дисперсного золотосодержащего минерального образца

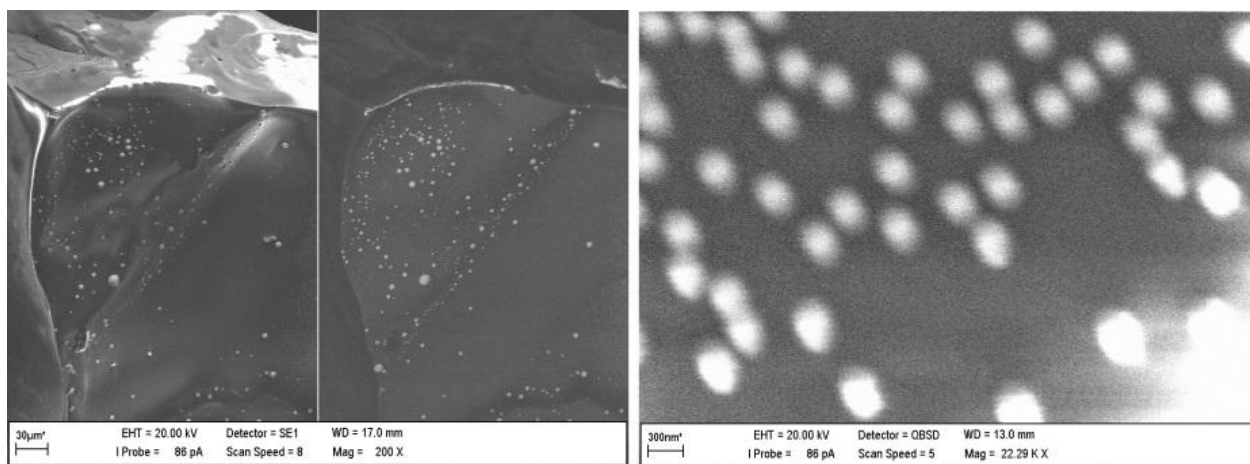


Рис. 3. Образование микронных и нанометрических объектов золота на алюмосиликатных спеках после лазерной обработки (увеличение 22000х)

Размеры оплавленного золота больше, чем в исходных образцах до лазерной обработки. Во всех проведенных экспериментах наблюдается скопление частиц золота на фоне минеральной матрицы образование самоорганизующихся структур золота на поверхности силикатной матрицы. Это подтверждается данными электронной микроскопии (Vanina, 2017).

Таким образом, установлено образование самоорганизующихся структур золота на поверхности силикатной матрицы, выявлены общие закономерности агломерирования и концентрирования «неизвлекаемых форм» золота. Наблюдаемые изменения формы, структуры и состава минеральных золотосодержащих ассоциаций после лазерной обработки свидетельствует в пользу практической значимости способа. На этой основе предложен способ (Леоненко, 2010; Кузьменко, 2015) укрупнения частиц благородных металлов, не извлекаемых традиционными методами. Данные исследования подтверждают возможность интегрирования источников лазерного излучения в процессы переработки минерального сырья.

Статья выполнена по гранту Министерства образования и науки Хабаровского края, Договор № 115/2018 д.

Список литературы:

Агеев А. В Архангельске испытают судовой лазер для резки льда // Техкульт: новости высоких технологий, науки и техники. 10.04.2017. URL: <https://www.techcult.ru/technics/4153-lazer-dlya-rezki-lda> (дата обращения: 25.01.2018).

Ванина Е.А., Гальцов А.А., Леоненко Н.А., Капустина Г.Г. Исследование процессов лазерной агломерации ультрадисперсного и коллоидно-ионного золота // Новые материалы и технологии: мат-лы XI Российско-Китайского симпозиума. Санкт-Петербург, 10-14 октября 2011 г. СПб.: Интерконтакт Наука, 2011. Спецвыпуск (13). С. 144-148.

Парафонова В. Лазер тушит пожары // Троицкий вариант – наука. 08.04.2014. № 151. С. 9. URL: <https://trv-science.ru/2014/04/08/lazer-tushit-rozhary/#comments> (дата обращения: 25.01.2018).

Пат. 2413779 Российская Федерация, МПК С 22 В 11/02, В 22 F 1/00. Способ извлечения дисперсного золота из золотосодержащего высокоглинистого минерального сырья / Леоненко Н.А., Кузьменко А.П., Силютин И.В., Рассказов И.Ю., Секисов Г.В., Гурман М.А., Капустина Г.Г., Швец Н.Л.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН, Тихоокеанский государственный университет. № 2010113683/02; заявл. 07.04.10; опубл. 10.03.11. Бюл. № 7.

Пат. 2541248 Российская Федерация, МПК С 22 В 11/02, С 22 В 9/22. Способ выделения ультрадисперсных и коллоидно-ионных благородных включений из минерального сырья и техногенных продуктов и установка для его осуществления. Кузьменко А.П., Храпов И.В., Кузьменко Н.А., Леоненко Н.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО «Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ) – Заявка 2012130446/02 заявл. 17.07.2012; опубл. 10.02.2015 Бюл. № 4.

Afanas'ev Yu.V., Zvestovskaya I.N., Zvorykin V.D., Ionin A.A., Senatsky Yu.V. and Starodub A.N. International Forum on Advanced High-Power Lasers and Applications (AHPLA-99) // Kvantovaya Elektronika. 2000. Vol. 30, N. 5. P. 462-470.

Vanina E.A., Veselova E.M., Leonenko N.A. Simulation of nonlinear effects at laser modification of the surface minerals with gold // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2016. T. 10176. P. 101761V. DOI: 10.1117/12.2268309.