

А.А. Гальцов, Е.А. Ванина, Н.А. Леоненко

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИНЕРАЛЬНЫЕ СРЕДЫ, СОДЕРЖАЩИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОЕ ЗОЛОТО

In this work it is applied scanning probe by SEM. Model of temperature field in heavy mineral products has obtained after [laser radiation](#).

В последнее время все более актуальными становятся задачи, связанные с воздействием сверхмощных потоков энергии на минеральные среды с целью вовлечь в переработку ультрадисперсное золото, имеющее размеры менее 20 мкм и пластинчатую или игольчатую форму, традиционными способами получить его практически невозможно.

К числу нетрадиционных методов энергетического воздействия относятся: электрохимическая обработка, облучение потоком ускоренных электронов, СВЧ-обработка, сверхмощные гиперударные волны и электроимпульсные технологии (электрогидродинамическое воздействие, магнитно-импульсная обработка, мощные наносекундные электромагнитные импульсы) [1].

Наиболее перспективным из этих методов в настоящий момент является облучение минеральных концентратов импульсным лазерным излучением, что позволяет обеспечивать скорости локальных изменений температуры в облучаемой среде до 10^{10} К*с⁻¹ и высокие градиенты температуры (до 10^7 К*см⁻¹) как на узко локализованных участках поверхностей, так и по глубине материалов из-за малой теплопроводности. Такие параметры не могут быть достигнуты при других способах воздействия [2].

В данной работе в качестве источника лазерного излучения применялся импульсный лазер с частотой повторения импульсов до 5 Гц, пиковой мощностью от нескольких МВт до 1,2 ГВт, длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм и длительностью импульсов от 10 мкс до 100 мс. В процессе обработки использовались серии импульсов от 40 до 80 сек. Исследовалось действие лазерного излучения на минеральные среды, содержащие ультрадисперсное золото и ряд минералов – таких как ильменит, сфен, гранат, пирит, циркон.

Для исследования особенностей структуры экспериментальных образцов использовались методы электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа. Микроскопическими исследованиями выявлено, что ультрадисперсное золото имеет форму гексагональных призм (рис. 1 а), химический состав которых приведен на рис. 1 б.

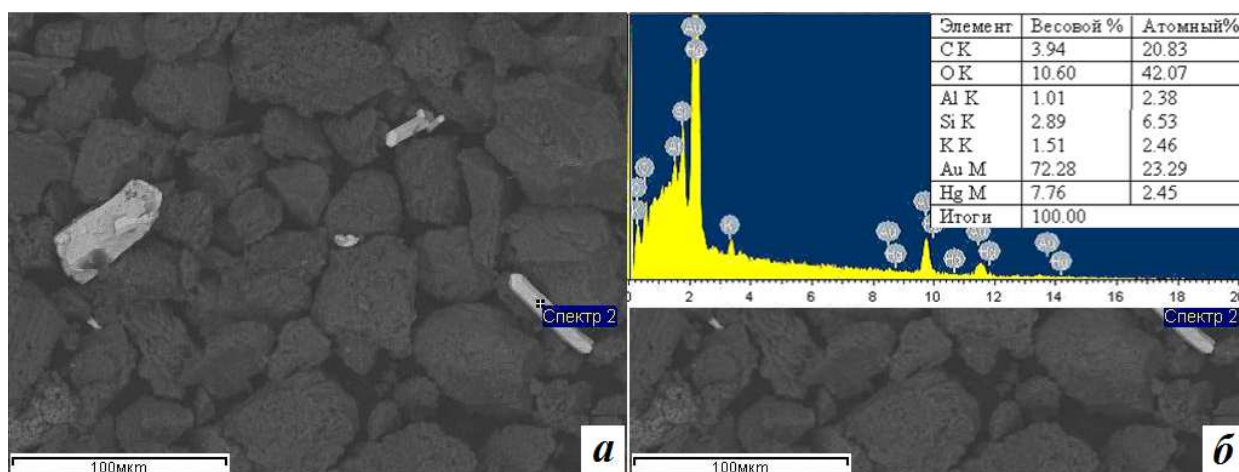


Рис. 1. Исходный золотосодержащий концентрат до лазерной обработки:
а – электронная микрофотография; б – элементный анализ исходного концентрата.

После лазерной обработки образцы представляли собой поверхностно неоднородные силикатные спеки (рис. 2 *а*, *б*), на поверхности которых происходит образование обожженных сфероподобных агломератов из глинистых, алюмосиликатных частиц диаметром от 500 до 1500 мкм.

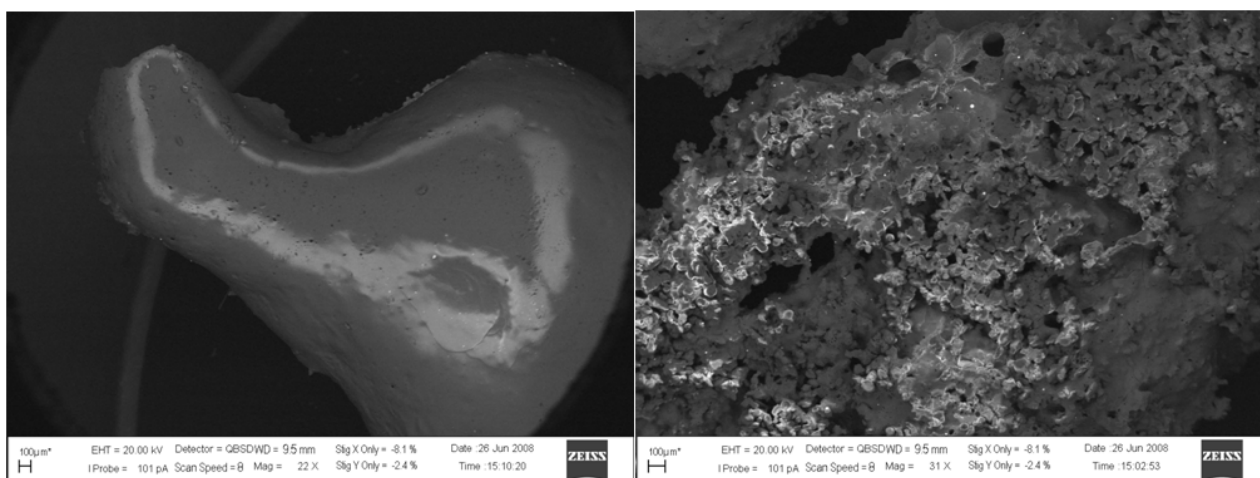


Рис. 2. Поверхность образца после лазерной обработки:
а – верхняя часть спека; *б* – нижняя часть спека.

Одновременно с этим регистрируется осаждение на них сферических частиц, состоящих из чистого золота, без примесей. Размеры агломератов золота составляли до 100 мкм (рис. 3 *а*, *б*) [2].

По мере лазерного воздействия частицы золота со сферообразной формой укрупняются, скорость их движения снижается. На последней стадии агломерации движение частиц прекращается, происходит только их укрупнение. Такое формообразование в процессе оплавления объясняется действием сил поверхностного натяжения, что и вызывает образование поверхностей из золота, отличающихся минимальной энергией – сферических поверхностей [3].

Таким образом, наблюдаемые при лазерном воздействии изменения формы, структуры и состава исходного золотосодержащего тяжелого концентрата позволяют получить относительно крупные частицы чистого золота, пригодные для извлечения традиционными способами.

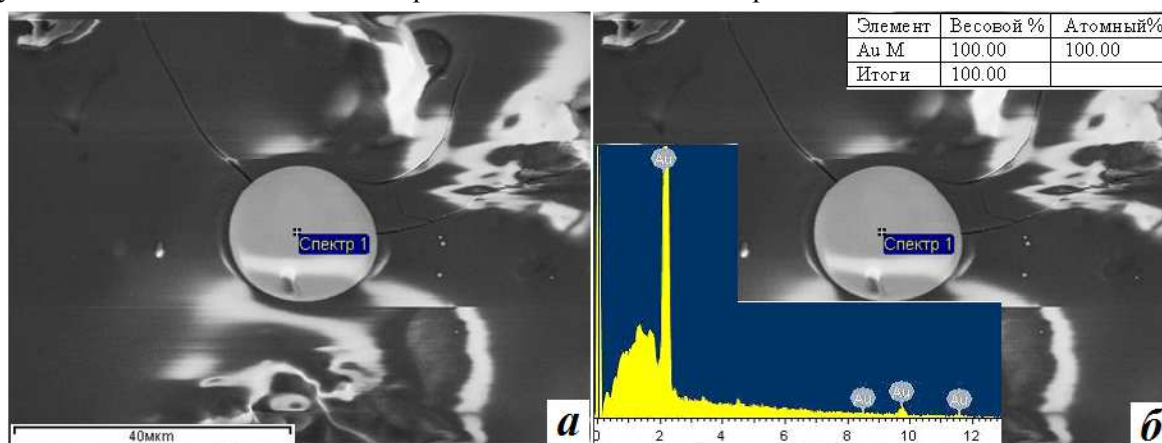


Рис. 3: Сфероподобные агломераты золота на поверхности силикатного спека после лазерного воздействия:
а – электронная микрофотография; *б* – элементный анализ агломератов.

Эффективность лазерной агломерации ультрадисперсного золота во многом зависит от температурного распределения в облучаемом образце, которое, в свою очередь, определяется параметрами лазерного излучения.

Для описания температурных полей, возникающих в минеральных средах под действием лазерного излучения, применяется уравнение теплопроводности. Это уравнение формирует условия теплопередачи в твердых телах вследствие процессов теплопроводности.

При моделировании процессов, происходящих при возникновении температурного поля в некоторой области, нагреваемой непрерывным тепловым источником q , ограничимся рассмотрением случая одномерного распространения теплового потока в глубь образца. Такое упрощение возможно, если радиус пятна нагрева R существенно больше толщины зоны лазерного воздействия L [4]. При этом уравнение теплопроводности имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho c} q(x, t),$$

где $q(x, t)$ – плотность поглощенного светового потока; $a = \lambda / c\rho$ – коэффициент температуропроводности; λ – коэффициент теплопроводности; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность облучаемого материала.

В качестве начального условия для уравнения теплопроводности примем, что до начала процесса облучения температура во всех точках среды одинакова и равна температуре окружающей среды T_0 , т.е.:

$$T(x, t)|_{t=0} = T_0 = const.$$

С начала и в течение всего процесса обработки на поверхности материала функционирует тепловой источник круглой формы радиуса R с удельной мощностью q – граничное условие уравнения теплопроводности, причем подводимая источником мощность полностью расходуется на нагрев тела:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = q.$$

Решение нестационарного уравнения теплопроводности в одномерном случае с заданными начальными и граничными условиями будет иметь вид:

$$T(x, t) = \frac{q}{c\rho L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2}{L^2} at\right) \right].$$

На основании полученного распределения температурного поля по глубине образца можно определить оптимальные режимы лазерного воздействия на исходные минеральные соединения и подобрать параметры лазерного излучения (длительность воздействия, энергия в импульсе, диаметр пучка, фокусное расстояние, время воздействия) для получения частиц золота максимального размера, что облегчает их последующее извлечение.

1. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Лунин В.Д. Нетрадиционные методы дезинтеграции и вскрытия упорных золотосодержащих продуктов: теория и технологические результаты // Горный журнал. – 2005. – № 4. – С. 68-74.

2. Леоненко Н.А., Гальцов А.А., Капустина В.Г., Швец Н.Л. Исследование фрактальных структур, образованных при высококонцентрированном энергетическом воздействии на природные минеральные объекты // Вестник АмГУ. – Благовещенск, – 2009. – Вып. 45. – С. 30-33.

3. Кузьменко А.П., Леоненко Н.А., Завадинский В.Г., Кузьменко Н.А., Петерсон М.В., Данильченко Д.Г. Лазерная агломерация ультрадисперсного золота из минеральных и техногенных ассоциаций и абляция нанокластеров диоксида циркония на поверхности кремния // Нанотехника. – 2007. – № 3. – С. 94-98.

4. Веселовский В.Б., Губин А.И. Математическое моделирование лазерного термического упрочнения без плавления поверхности // Металлургическая теплотехника. – Днепропетровск., 2008. – С. 53-61.