

**И.С. Герасимов, Н.А. Леоненко, А.С. Савостьянова, Е.А. Ванина**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ**

*Статья посвящена исследованию процесса воздействия лазерного излучения на минеральные ассоциации, содержащие наноразмерные частицы золота или других тяжелых металлов.*

*Investigation of process of laser interaction with mineral assemblages containing nano-sized particles of gold or other heavy metals is discussed.*

Высокая интенсивность добычи многих видов минерального сырья приводит к постепенному его истощению и ухудшению горно-геологических и горнотехнических условий их разработки. Сравнительно легкодоступные и богатые по содержанию минерального сырья источники исчерпываются в первую очередь, и возникает необходимость вовлекать в процесс добычи все более бедные и упорные руды, к которым все сложнее становится применять традиционные методы извлечения ценных компонентов (гравитационные технологии). Такая ситуация характерна, в частности, для одной из важнейших отраслей – золотодобычи.

Существуют отличия в поведении тонкого и относительно крупного золота в технологических процессах извлечения и обогащения. Практически не извлекается традиционными методами обогащения золото, имеющее размеры частиц менее 20 мкм и пластинчатую или игольчатую форму [1, 2]. Это обуславливает актуальность поиска новых способов обогащения и извлечения ценных компонентов из минерального сырья. Предпринимаются попытки использовать нетрадиционные энергетические воздействия на сырье – такие как электрохимическое окисление, СВЧ-нагрев, облучение ускоренными электронами и мощными электромагнитными импульсами [3]. Одним из эффективных методов, позволяющих достичь прироста при извлечении золота и других тяжелых металлов, является обработка исходных минеральных ассоциаций лазерным излучением.

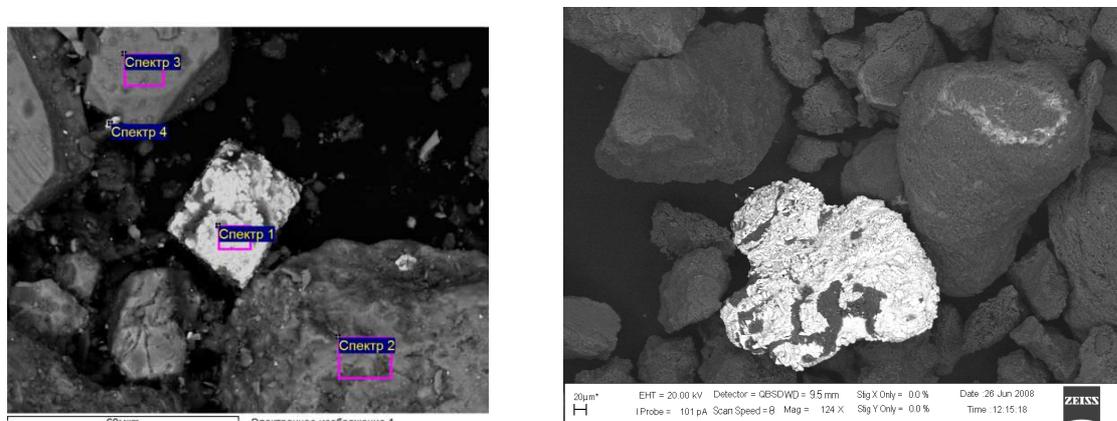
Цель работы – исследование воздействия лазерного излучения на минеральные ассоциации, содержащие ультрадисперсное золото и иные тяжелые металлы.

Использование лазерного излучения дает возможность формировать высокие градиенты температур на узко локализованных участках поверхности и по глубине материалов (до  $10^7$  К см<sup>-1</sup>). Этому способствует низкая температуропроводность. Далеко не все способы воздействия позволяют получать такие условия в веществе. При концентрированном энергетическом импульсно-периодическом лазерном воздействии можно достичь высокой скорости разогрева материалов вплоть до температур плавлений ( $T_{пл}$ ), характерных для минеральных ассоциаций [4].

Процесс лазерного воздействия на минеральные ассоциации, содержащие золото и иные тяжелые металлы, схематично может быть представлен следующим образом. На первой стадии происходит оплавление легкоплавких составляющих. В дальнейшем, при достижении соответствующих температур, расплавлению подвергаются золото и прочие примеси. Наноразмерность частиц понижает порог температуры плавления. В течение процессов плавления происходит образование поверхностей минимальной энергии, т.е. сфер. В силу эффекта смачивания происходит агломерация расплавленных наноразмерных частиц золота, их размеры

увеличиваются, а скорость движения по расплавленной основе уменьшается [5]. Экспериментальная работа проводилась с минеральными объектами (рис. 1).

Рис. 1. Электронные микрофотографии исходных образцов.



В качестве исходных образцов выступали минеральные образования Гайфонского месторождения (Хабаровский край) с размерами фракции 1,0+0,071 мм и 0,071+0,04 мм, основу которых составляли алюмосиликаты. Золото присутствовало в них в тонкодисперсной и ультрадисперсной формах (шлихи, коллоидно-ионное золото) и содержало большое количество примесей.

На рис. 2 представлен элементный анализ агломератов с высоким содержанием золота в кристаллической и коллоидной формах.

Другим объектом изучения был природный магнетит россыпного месторождения (Амурская область), содержащий примеси тяжелых металлов (Pb, Au, W и др.). Элементный анализ магнетита не выявил содержания золота на внешней поверхности. Работа велась и с модельными алюмосиликатными золотосодержащими образцами с искусственно введенным ионным золотом.

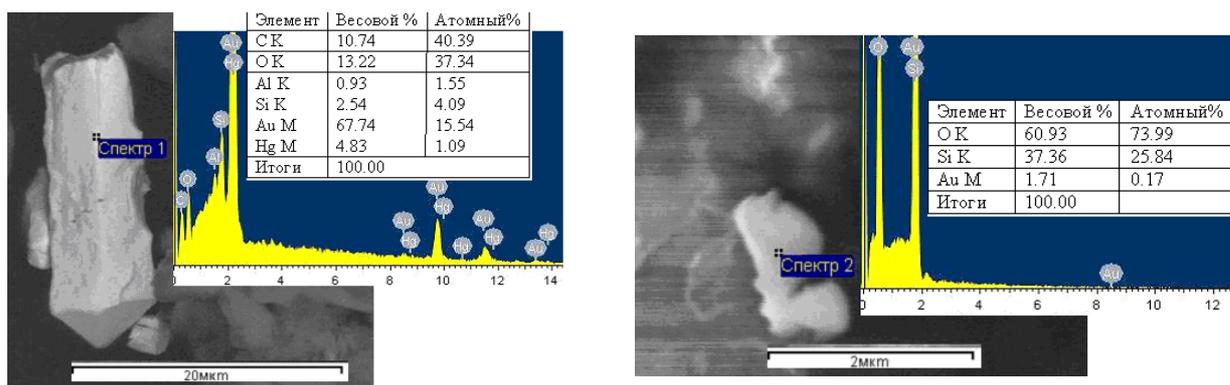


Рис. 2. Электронные микрофотографии золота в исходных минеральных средах.

Исследование всех образцов выполнялось до и после обработки лазерным излучением методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии. Для определения элементного состава использовалась энергодисперсионная приставка к РЭМ.

В ходе экспериментов применялись различные режимы лазерного излучения – как импульсный (ЛС-06, частота – 5 Гц, диаметр ~ 1-3 мм, плотность мощности до 1 МВт/см<sup>2</sup>, длительность импульсов от 150 мкс до 1 мс, длины волн 1065÷1080 нм), так и непрерывный (при обработке модельных образцов с ионным золотом, мощность излучения 60 – 180 Вт, диаметр расфокусированного пучка – 8 мм).

В результате лазерного воздействия образцы принимали форму поверхностно и химически неоднородных оплавленных объектов (рис. 3). На образцах, полученных из минеральных образований Гайфонского месторождения, золото присутствовало на поверхности объектов в виде сфероподобных образований больших размеров и большей чистоты, чем в исходном минеральном сырье. Элементный анализ агломератов золота приведен на рис. 4.

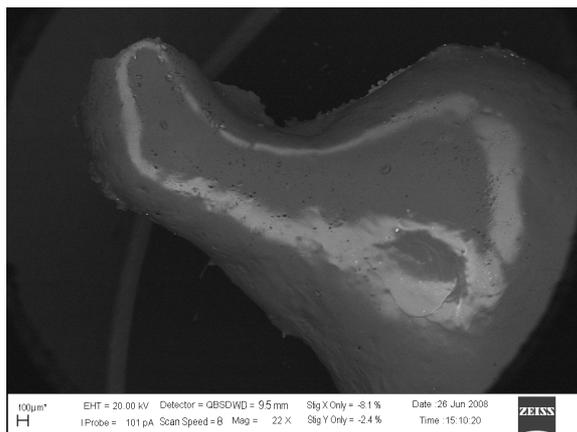


Рис. 3. Верхняя часть оплавленного объекта.

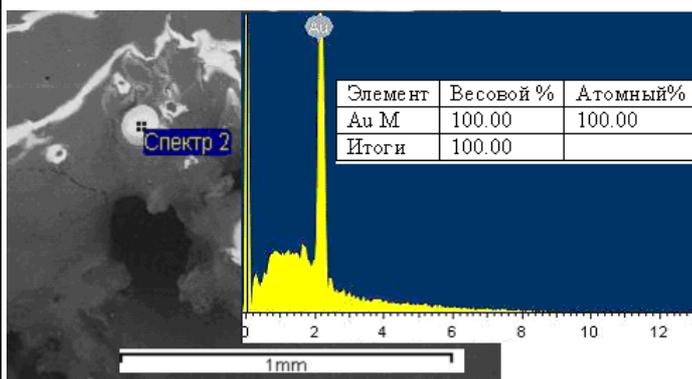


Рис. 4. Сфероподобные агломераты золота на поверхности образца после обработки лазерным излучением.

В случае магнетита на поверхности оплавленного объекта были обнаружены конгломераты отдельных химических элементов (рис. 5). Золото отсутствовало на внешней поверхности оплавленного объекта – как и до обработки. Для исследования внутренней структуры объект был разделен на части. Во внутреннем его объеме присутствует множество сферических скопления. На этих сферических скоплениях, образованных в основном магнетитом и оплавленным кремнием, обнаружены конгломераты свинца, золота (рис. б) и других примесей, сопутствующих магнетиту.

В то время как интерпретация результатов лазерной агломерации для субмикронных форм методами РЭМ не вызывает сложностей, в случае наночастиц или коллоидно-ионного золота все не так очевидно. Метод АСМ позволяет сделать некоторые выводы об изменениях, происходящих в таких средах под действием лазерного излучения. Исследование результатов агломерации модельных образцов, содержащих ионное золото, методом АСМ также показало наличие процесса агломерации золота в более крупные образования.

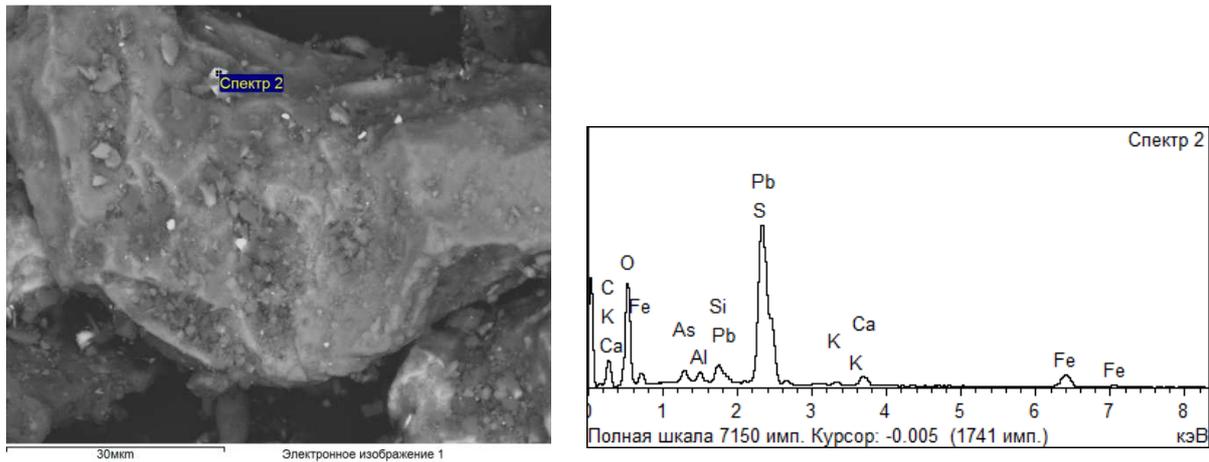


Рис. 5. Конгломерат свинца на поверхности магнетита после обработки лазерным излучением.

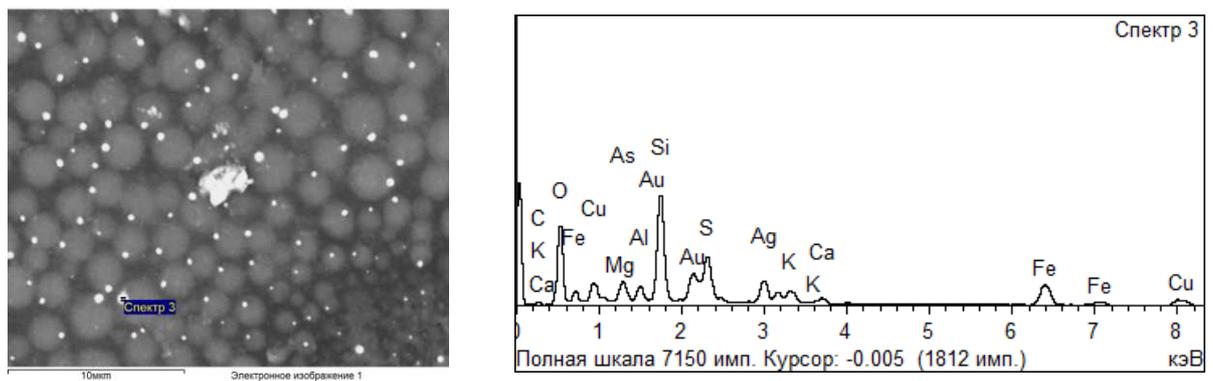


Рис. 6. Конгломерат золота во внутреннем объеме магнетита после обработки лазерным излучением.

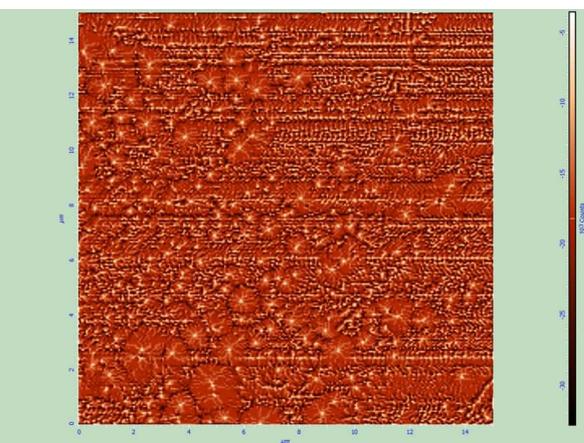
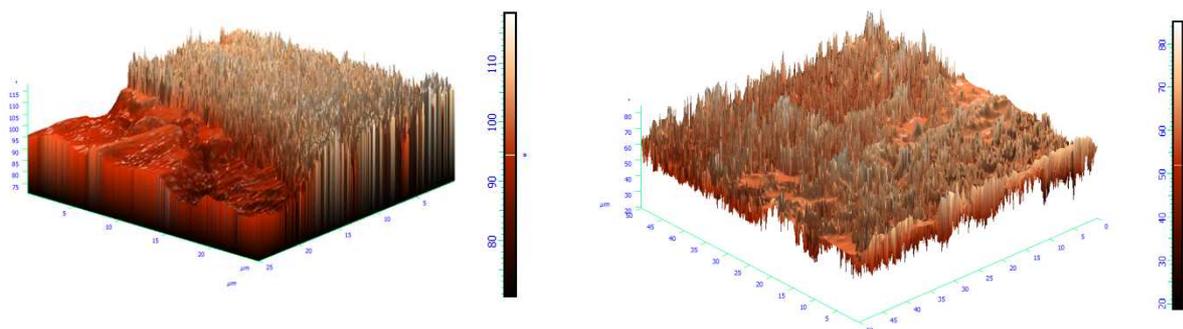


Рис. 7. Кластерная структура в модельных золотосодержащих образцах после облучения.

В глинах, содержащих коллоидное золото, четко прослеживается кластерная, ячеистая структура. В обработанных образцах с ионным золотом также присутствовала эта структура, однако в меньшей степени (рис. 7). Можно говорить об увеличении дезинтеграции в минеральных ассоциациях под действием лазерного излучения. При этом вполне естественным образом степень дезинтеграции зависит от мощности воздействия. Это можно проследить на примере образцов магнетита, которые были обработаны при различных режимах излучения – 300 Вт и 360 Вт. Более равномерный характер пиков на снимках АСМ, отображающих силовое взаимодействие зонда с поверхностью, свидетельствует о большей степени химической однородности (рис. 8). Кроме того, большая высота пиков при исследовании образцов, облученных лазером при 360 Вт, свидетельствует об увеличении микротвердости минеральных ассоциаций. Это связано с испарением легких составляющих под действием более мощного излучения.

Рис. 8. Силовое взаимодействие зонда с поверхностью магнетита после лазерной обработки.



Из всего изложенного можно сделать следующие выводы. Под действием лазерного излучения происходит агломерация наноразмерного и субмикронного золота в более крупные образования, отличающиеся большей химической чистотой в сравнении с исходными минеральными ассоциациями. Исследование результатов обработки магнетита свидетельствует, что подобное поведение характерно не только для золота, но и для других тяжелых металлов. Кроме того, под действием лазерного излучения происходит дезинтеграция, увеличивается химическая однородность минеральных ассоциаций. Возрастает их микротвердость за счет испарения более легких составляющих.

---

1. Галустян, Л.А. Технология извлечения коллоидного золота из производственных и сточных вод золотоизвлекательных фабрик // Горный журнал. – 2003. – № 2. – С. 61-62.

2. Моисеенко, В.Г. Нетрадиционный подход к отработке техногенных золотосодержащих россыпей / В.Г. Моисеенко, Н.С. Остапенко, А.Ф. Миронюк // Горный журнал. – 2006. – № 4. – С. 66-68.

3. Чантурия, А.В. Вскрытие упорных золотосодержащих руд при воздействии мощных электромагнитных импульсов / А.В. Чантурия, Ю.В. Гуляев, В.Д. Лунин и др. // ДАН. – 1999. – Т. 366, № 5. – С. 680-683.

4. Леоненко, Н.А. Лазерная агломерация ультрадисперсного золота из минеральных и техногенных ассоциаций высокоглинистых песков / Н.А. Леоненко, А.П. Кузьменко, М.В. Петерсон, Н.А. Кузьменко // Записки Горного института. – 2007. – Т. 171. – С. 113-116.

5. Леоненко, Н.А. Извлечение ультрадисперсных благородных металлов из минеральных сред при импульсном лазерном воздействии / Н.А. Леоненко, А.П. Кузьменко, Н.А. Кузьменко // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. Дальний Восток. – 2007. – № 9. – 584 с.