

## РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПЛЕНОК С ПОВЕРХНОСТИ КАМЕННЫХ ПАМЯТНИКОВ

Поиск эффективных мер противодействия разрушению памятников – одна из важнейших научно-практических задач сохранения культурного наследия. Объекты, экспонирующиеся на открытом воздухе, подвергаются воздействию различных разрушающих факторов природного и антропогенного характера. Одна из главных причин разрушения каменных памятников (особенно в крупных промышленных городах) это появление на их поверхности биологических поражений (бактерий, грибов, водорослей, лишайников и пр.). Развитие биопоражений приводит к ухудшению не только внешнего вида, но и разрушению поверхностного слоя камня (потере стабильности материала, выкрашиванию отдельных фрагментов и т.д.). Традиционные методы реставрации, включающие механическую и химическую обработку поверхности, не всегда позволяют достигнуть требуемого качества очистки. Кроме того, очень часто они приводят к негативным последствиям, таким как потеря части материала поверхности или проникновение химических веществ в структуру объекта. По этой причине в настоящее время весьма актуальна задача разработки новых технологий.

В последние годы в реставрации все чаще используется метод лазерной очистки памятников, которые впервые был предложен американским физиком Дж.Асмусом [1]. В основе данного метода лежит эффект фотоабляции, в результате которого происходит удаление поверхностных загрязнений. Эффективность процесса лазерной абляции зависит от параметров излучения лазера, а также химических, механических и оптических свойств облучаемого материала. Известно, что при правильном выборе типа лазера и его выходных параметров возможно селективное удаление загрязнений без повреждения поверхности самого объекта [2–3]. Таким образом, по сравнению с традиционными технологиями, лазерная очистка обладает такими преимуществами, как полный контроль за ходом процесса очистки, возможность сохранения рельефа поверхности и авторской патины, бесконтактность и др. Несмотря на то, что данный метод применяется в реставрации уже более 30 лет, из научной литературы известно очень мало публикаций, посвященных лазерному удалению биогенных загрязнений.

Целью данной работы было подробное изучение этих вопросов и разработка лазерной технологии удаления биологических пленок с поверхности каменных памятников. Задачами исследования являлось определение оптимальных режимов работы и выходных параметров лазеров и анализ состояния поверхности камня до и после лазерной обработки. Исследования проводились на образцах различных каменных пород (путиловская плита, белый мелкозернистый мрамор, рускеальский мрамор, гранит, песчаник и др.), покрытых пленками биологического происхождения. В экспериментах использовался импульсный Nd:YAG лазер, работающий в режиме свободной генерации. Кроме того, впервые, насколько нам известно, для очистки каменных поверхностей был использован лазер на парах меди. Анализ поверхности проводился с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). В ходе исследования были подобраны оптимальные параметры лазерного излучения, позволяющие решить задачу очистки каменных объектов. Очистка производилась с помощью лазерной установки на Nd:YAG, работающей в режиме свободной генерации: модель Smart Clean II (производство El.En. S.p.a., Италия), рабочая длина волны 1,064 мкм, длительность импульсов 50...110 мкс, максимальная энергия импульса 2 Дж, частота повторения импульсов от 1 до 30 Гц, диаметр пятна в фокусе от 1,5 до 9 мм. В

экспериментах использовался также квазинепрерывный лазер на парах меди (рабочая длина волны 511+589 нм, длительность импульса 15 нс). В работе использовался метод влажной лазерной очистки, при котором поверхность образцов в процессе обработки смачивалась водой. До и после лазерной обработки проводился СЭМ-анализ поверхности образцов. Примеры полученных снимков для образца песчаника показаны на рис. 1.

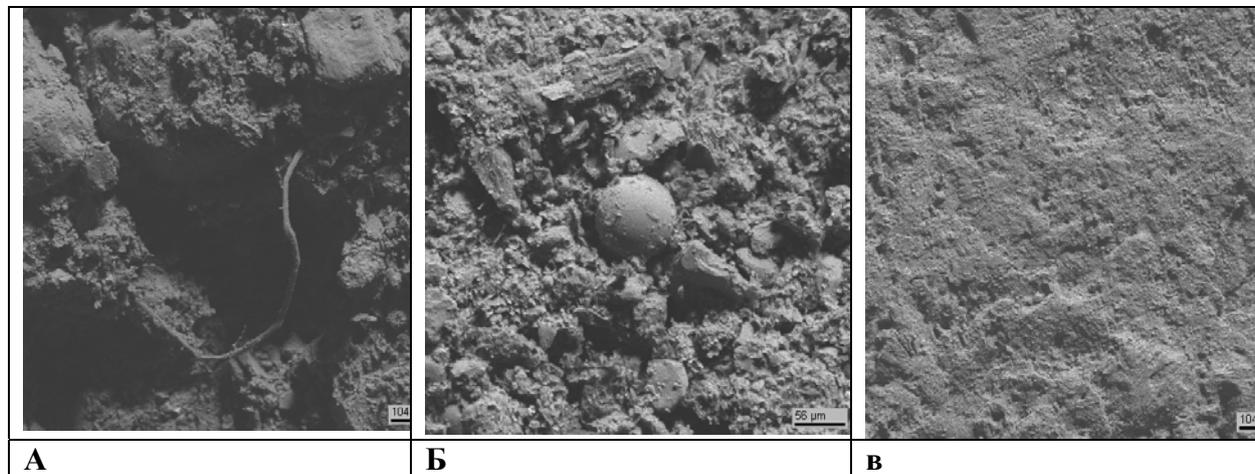


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности белого мелкозернистого мрамора: а, б – до очистки (со следами поражений, вызванных микроскопическими грибами); в – после обработки поверхности излучением Nd:YAG лазера

В результате проведенной работы была продемонстрирована высокая эффективность лазерного удаления биологических пленок с поверхности камня. Было показано, что для удаления биогенных поражений могут использоваться как Nd:YAG, так и медный лазеры. При этом для каждого конкретного объекта существуют свои оптимальные выходные параметры лазерного излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. L.Lazzarini, J.Asmus, M.L.Marchesini, 1<sup>st</sup> Int.Symposium on the Deterioration of Building Stone, La Rochelle (1972), pp.89-94.
2. R.Solimbeni, SPIE Proceedings, Vol.5857, pp.8-18 (2005).
3. Cooper M., Laser Cleaning in Conservation: An Introduction / Butterworth-Heinemann, Oxford, 1978.