

Исследование гербицидного действия ультрафиолетового излучения на старые бумажные документы¹

А. МОНДАЛ¹, К. ГХОШ^{1,2}

¹ Южнокалькутский политехнический университет, Колката, Индия

² Джадавпурский университет, Колката, Индия

Email: kamalikaghosh4@gmail.com

Аннотация

В непрерывно изменяющемся мире культурное наследие, особенно в виде документов, имеет важное значение для цивилизованных стран. Документы, особенно, бумажные, являются органическими объектами, которые предрасположены к образованию бактерий. В большинстве архивов наблюдалось разрушение бактериями важных документов, так что их консервация имеет большое значение. При этом, хорошо спроектированные осветительные установки позволяют использовать фотобиологическое воздействие света, то есть убивать бактерии УФ излучением источника света. Были проведены экспериментальные исследования различных бумажных документов, подвергнутых воздействию имеющего разную интенсивность УФ излучения. В ходе этих исследований регистрировалось как начальное содержание бактерий в образцах, так и их содержание после воздействия имеющего разную интенсивность УФ излучения. Полученные результаты были проанализированы и представлены в данной статье. Как и ожидалось, облучение привело к положительному результату. Если эту методику удастся применить для консервации содержащихся в архивах бумажных документов, то это будет способствовать сохранению нашего культурного наследия, что очень важно для развития общества.

Ключевые слова: архивы, бактерии, консервация, наследие, освещение, метод *swar*.

1. Предыстория

Биологическое разрушение можно определить как любое нежелательное изменение свойств материала, вызванное жизнедеятельностью живых организмов [1, 2] и отличающееся от

изменений, обусловленных химическим, механическим, физическим воздействием. Биологические факторы, приводящие к разрушению, называют биологическими разрушителями (*bio deteriogen*), к которым относятся самые разные объекты, от микроорганизмов, таких, как грибки, до высших растений. Так как органические материалы, которые наиболее уязвимы к биологическому воздействию, используются во многих предметах культурного наследия, а повышенные температура и влажность приводят к ослаблению этих материалов и стимулируют как рост, так и размножение биологических разрушителей, то

защита коллекций от этих разрушителей является очень важной задачей.

Обеспечение сохранности материалов исторических объектов, особенно органических, таких как ткани, бумага, дерево, пальмовые листья и т.д., заслуживают большого внимания и проведения исследований на предмет увеличения срока жизни физических объектов, содержащих мудрость прошлых лет [3, 4]. Свет, как естественный, так и искусственный, является одним из факторов окружающей среды, которые следует контролировать для сохранения этого важного исторического наследия как в национальных архивах и исторических зданиях, так и в библиотеках и музеях. В настоящее время хорошо известно, что микроорганизмы ответственны за разрушение хранящегося в архивах культурного наследия. Скорость размножения микроорганизмов на хранящихся в архивах объектах, особенно изготовленных из бумаги, ткани, дерева, пальмовых листьев и бересты, определяется двумя основными факторами: химическим составом подложки и окружающими условия-

Рис. 1. Выбранные образцы бумаги: 60-летняя (слева) и 40-летняя (справа) бумага

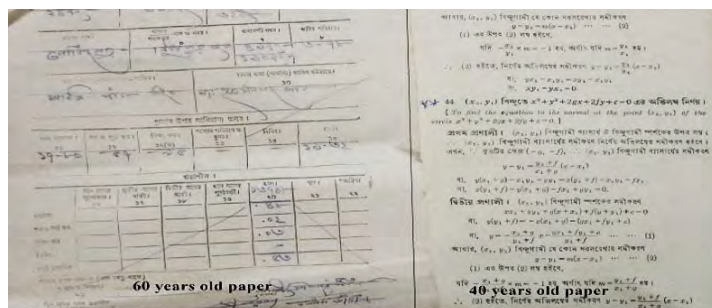


Рис. 2. Экспериментальная УФ лампа



Рис. 3. Ламинарный расходомер (слева) и автоклав (справа)

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Классификация диапазонов УФ излучения

| Диапазон УФ излучения | Длины волн, нм |
|-----------------------|----------------|
| УФ-А | 400–315 |
| УФ-В | 315–280 |
| УФ-С | 280–100 |



Таблица 2

Характеристики УФ ламп

| Характеристика | Лампа низкой интенсивности | Лампа высокой интенсивности |
|---|----------------------------|-----------------------------|
| Тип | T5 Slim Line | T5 Slim Linkable |
| Мощность, Вт | 4 | 8 |
| Длина, футы/см | 2/61 | 2/61 |
| Коррелированная цветовая температура, К | 2700 | 6400 |
| УФ облучённость на расстоянии 2 фута (61 см), мкВт/м ² | 306 | 612 |
| Напряжение питания, В | 220–240 | 220–240 |
| Ресурс, ч | 7500 | 8000 |

Таблица 3

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий до обработки УФ излучением (бумага возрастом 60 лет)

| Количество колоний до обработки УФ излучением | Изображение в натуральную величину | Изображение под микроскопом |
|---|--|---|
| Чашка Петри 1: 10 колоний |  |  |
| Чашка Петри 2: 60 колоний |  |  |

ми, такими как наличие питательных веществ, благоприятные температурные условия, влажность и т.д. Инженеру-светотехнику следует выбрать пути и средства разрушения при помощи света таких микроорганизмов, как грибки, микроскопические водоросли, бактерии и т.д. Нами была предпринята попытка реализовать это при помощи УФ излучения, наличествующего в излучении искусственных источников света, в первую очередь, ртутных. В статье приводится краткое описание того, как вид и интенсивность УФ излучения, а также время экспонирования, влияют на разрушение микробов, таких как грибки, микроскопические водоросли и бактерии, или регулируют их рост.

2. Последовательность проведения экспериментов [7, 8]

- Получение старых предметов, таких как бумага, из хранилищ культурного наследия.

- Приобретение на рынке УФ ламп разной мощности.

- Приготовление среды Чапека-Докса для выращивания бактерий и грибов.

- Сбор заражённых бактериями и грибами образцов изготовленной вручную или машинным способом бумаги и ткани для начальной стадии метода *swab* (т.е. до начала УФ облучения). Идентификация бактерий и подсчёт их концентрации на образцах.

- УФ облучение объекта в ламинарном расходомере с разной интенсивностью в течение определённого времени.

- Сбор бактерий и грибов с бумаги и ткани после воздействия УФ излучения.

- Сравнение концентрации бактерий на предметах культурного наследия до и после воздействия УФ излучения.

3. Получение старых предметов из хранилищ культурного наследия

Вначале из хранилищ были получены образцы изготовленной вручную и машинным способом бумаги возрастом сорок и шестьдесят лет. Эти куски бумаги могли содержать подписи и официальные записи, соответствующие конкретным моментам времени и событиям (рис. 1).

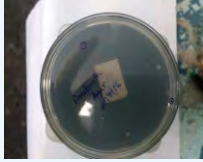






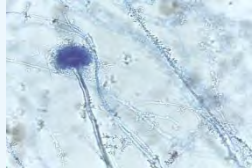
4. Приобретение УФ ламп разной мощности

Солнце является естественным источником света с широким спектром излучения, который можно грубо разбить на радиоволновое, микроволновое, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское и гам-

ма излучение. Если говорить об УФ излучении, то оно представляет собой электромагнитное излучение с длинами волн в интервале от 100 до 400 нм, короче чем у видимого света, и длиннее, чем у рентгеновского излучения (табл. 1).

В данном исследовании для минимизации концентрации бактерий

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий после обработки УФ излучением (бумага возрастом 60 лет)

| Чашка Петри 1 | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|--|---|
| Длительность облучения, ч | УФ облучённость | Доза [1, 2], мДж/см ² | Количество колоний в образце А после обработки УФ излучением, шт. | Изображение в натуральную величину | Изображение под микроскопом |
| 3 | Высокая (612 мкВт/м ²) | 1,836 | 4 |  |  |
| | Низкая (306 мкВт/м ²) | 0,918 | 5 |  |  |
| Чашка Петри 2 | | | | | |
| Длительность облучения, ч | УФ облучённость | Доза [1, 2], мДж/см ² | Количество колоний в образце А после обработки УФ излучением, шт. | Изображение в натуральную величину | Изображение под микроскопом |
| 6 | Высокая (612 мкВт/м ²) | 3,672 | 17 |  |  |
| | Низкая (306 мкВт/м ²) | 1,836 | 29 |  |  |

на старых объектах использовались две разные лампы (рис. 2), создававшие облучённости, равные 612 и 306 мкВт/м².

5. Необходимые для проведения экспериментов главные и второстепенные приборы

- **Ламинарный расходомер (рис. 3, слева):** Являясь частью лабораторного обеззараживающего оборудования, он включает в себя УФ лампу. Обычно эту лампу, установленную в ламинарном боксе или боксе биологической защиты, включают в то время, когда

бокс не используется, чтобы поддерживать рабочую зону в чистом и незагрязнённом состоянии.

- **Автоклав (рис. 3, справа):** Автоклав используется главным образом для обеззараживания хирургических и лабораторных инструментов, фармацевтических объектов и других изделий. В нём можно обеззараживать твёрдые тела, жидкости, полости и инструменты разной формы и размеров. Автоклавы имеют разные размеры, форму и функциональное назначение. Простейший автоклав похож на скороварку: в нём для уничтожения бактерий, спор и микробов, устойчивых

к кипятку и сильным моющим средствам, используется сила пара.

- **Инкубатор:** Инкубатор используется для культивирования микроорганизмов и клеток. В инкубаторе поддерживаются оптимальные температура, влажность и прочие условия, например, содержание CO (CO_2) и кислорода в наполняющем инкубатор воздухе. В данном эксперименте инкубатор использовался для выращивания при заданных условиях собранных с образцов бактерий.

- **Характеристики ламп:** В этих экспериментах для минимизации концентрации бактерий на старых объек-

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий до обработки УФ излучением (бумага возрастом 40 лет)

| Количество колоний до обработки УФ излучением | Изображение в натуральную величину | Изображение под микроскопом |
|---|---|---|
| Чашка Петри 3: 5 колоний |  |  |
| Чашка Петри 4: 15 колоний |  |  |

тах использовались две разные лампы (табл. 2).

6. Используемый способ уменьшения количества бактерий и грибов на старых объектах

Метод *swap*:

1. Отбор образцов для проведения экспериментов.

2. Подготовка агаровой среды Чапека-Докса и стерилизация её и агаровой пластины в автоклаве при температуре 121 °С в течение 15 мин для удаления имеющихся бактерий и грибов, после чего агаровую среду наливают в чашку Петри, в которой бактерии и грибки можно выращивать в благоприятных условиях.

3. Бактерии и грибки отбирают с образцов и выдерживают на агаровой пластине в инкубаторе при температуре воздуха 28 °С на протяжении 5–6 дней.

4. По истечении 5–6 дней подсчитывают количество колоний бактерий и грибов, выращенных в чашках Петри или на агаровых пластинах в агаровой среде.

5. Образцы, размещённые на расстоянии 2 футов (61 см) от источника излучения, обрабатывают УФ излучением в ламинарном расходомере в течение, соответственно, трёх или четырёх часов.

6. После обработки УФ излучением образцы переносят на новые агаровые пластины, опять помещают в инкубатор и выдерживают в нём при той же

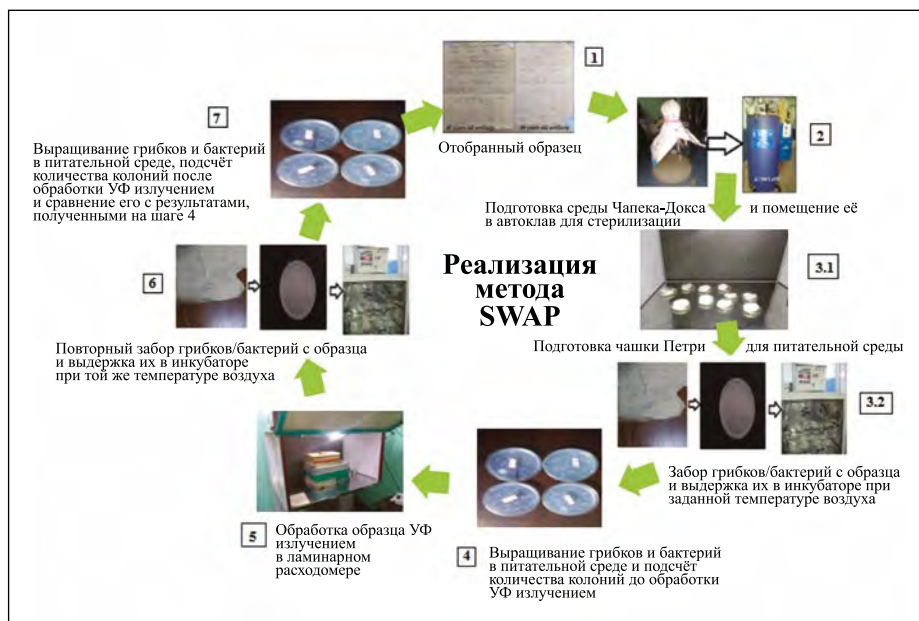


Рис. 4. Последовательность реализации метода *swap*

температуре воздуха (28 °С) на протяжении 5–6 дней.

7. По истечении 5–6 дней снова подсчитывают количество выращенных колоний бактерий и грибов. Проводят сравнение с количеством колоний до обработки УФ излучением и определяют, уменьшилось их количество или нет.

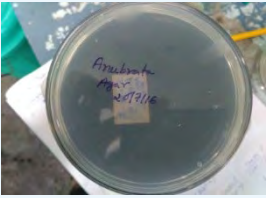


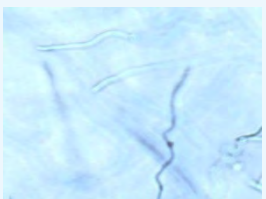


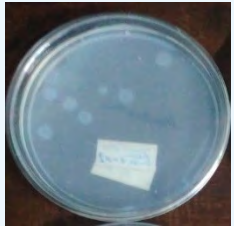
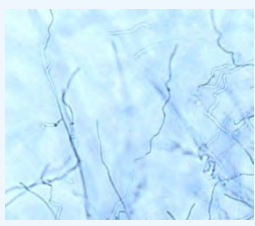
7. Анализ результатов эксперимента

Результаты, полученные до и после обработки УФ излучением образцов типа А (60-летняя бумага), представлены, соответственно, в табл. 3 и 4.

Результаты, полученные до и после обработки УФ излучением образцов типа В (40-летняя бумага), представлены, соответственно, в табл. 5 и 6.

Таким образом, было предпринято несколько попыток уничтожить бактерии на заражённых образцах без разрушения самих исследуемых образцов. При этом использовались подходящие источники света, УФ излучение которых успешно уменьшило количество колоний бактерий на заражённых образцах без негативных последствий для них самих. Анализ полученных результатов представлен в табл. 7.

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий после обработки УФ излучением (бумага возрастом 40 лет)

| Чашка Петри 3 | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|--|---|
| Длительность облучения, ч | УФ облучённость | Доза [1, 2], мДж/см ² | Количество колоний в образце В после обработки УФ излучением, шт. | Изображение в натуральную величину | Изображение под микроскопом |
| 3 | Высокая (612 мкВт/м ²) | 1,836 | 2 |  |  |
| | Низкая (306 мкВт/м ²) | 0,918 | 3 |  |  |
| Чашка Петри 4 | | | | | |
| Длительность облучения, ч | УФ облучённость | Доза [1, 2], мДж/см ² | Количество колоний в образце В после обработки УФ излучением, шт. | Изображение в натуральную величину | Изображение под микроскопом |
| 6 | Высокая (612 мкВт/м ²) | 3,672 | 4 |  |  |
| | Низкая (306 мкВт/м ²) | 1,836 | 7 |  |  |

8. Выводы

Это экспериментальное исследование было посвящено фотобиологическому действию света, т.е. уничтожению бактерий УФ излучением, которое делят на УФ-А, УФ-В и УФ-С. В этом исследовании использовался источник УФ-В излучения при разных значениях УФ облучённости и разных продолжительностях облучения. Полученные результаты говорят о том, что разрушение бактерий

происходит должным образом и зависит от дозы УФ излучения. Инженеры-светотехники смогли предложить хорошее решение задачи консервации документов и выбрать подходящее для этого освещение [12], применив УФ излучение и не прибегая к использованию химикатов, которые обычно повреждают архивные документы. Однако эксперименты проводились при сравнительно низком уровне УФ облучённости, соответствующем реализуемому в залах

музеев. Изредка, через определённые промежутки времени, архивные документы можно подвергать более интенсивному облучению в, например, ламинарном расходомере или аналогичном устройстве, которые вряд ли можно найти в музеях.

Авторы признательны д-ру Джойдипу Мукхерджи (*Joydeep Mukherjee*), доценту, а затем руководителю Школы науки, техники и проектирования освещения Джадавпурского университета, и д-ру Субарне Бхатачарья

Анализ колоний бактерий

| Образец | Номер чашки Петри | Начальное количество колоний, шт. | УФ облучённость, мкВт/м ² | Длительность облучения, ч | Доза [1, 2], мДж/см ² | Конечное количество колоний, шт. | Уменьшение, % | Комментарии |
|---------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|---|
| A | 1 | 10 | 612 | 3 | 1,836 | 4 | 60,00 | При одной и той же длительности облучения увеличение облучённости вдвое приводит к уменьшению количества колоний только на 10 % |
| A | 1 | 10 | 306 | 3 | 0,918 | 5 | 50,00 | |
| A | 2 | 60 | 612 | 6 | 3,672 | 17 | 71,66 | В случае большей интенсивности увеличение длительности приводит к улучшению результата на 11,66 % |
| A | 2 | 60 | 306 | 6 | 1,836 | 29 | 51,66 | Не очень эффективно при меньшей облучённости |
| B | 3 | 5 | 612 | 3 | 1,836 | 2 | 60,00 | В случае меньшей концентрации при одной и той же длительности облучения увеличение облучённости вдвое приводит к уменьшению количества колоний только на 20 % |
| B | 3 | 5 | 306 | 3 | 0,918 | 3 | 40,00 | |
| B | 4 | 15 | 612 | 6 | 3,672 | 4 | 73,33 | В случае большей облучённости увеличение длительности приводит к улучшению результата на 10 % |
| B | 4 | 15 | 306 | 6 | 1,836 | 7 | 53,33 | Не очень эффективно при меньшей облучённости |

(Subarna Bhattacharya), доценту этой же школы, как за разрешение воспользоваться их лабораторией, так и за помощь в проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kowalski, W. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook UVGI for Air and Surface Disinfection. – London, New York: Springer Heidelberg Dordrecht. ISBN978-3-642-01998-2, e-ISBN978-3-642-01999-9 DOI 10.1007/978-3-642-01999-9.

2. Bolton, J.R. Ultraviolet Applications Handbook. 3rd Ed., updated. Photosciences Inc. 628 Cheriton Cres., NW, Edmonton, AB, Canada T6R2M5

3. Elottol, M.A., Bahauddin, A. A Competitive Study on the Interior Environment and the Interior Circulation Design of Malaysian Museums and Elderly Satisfaction, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 4, No. 3, 2011.

4. Maev, R. Gr., Green, R.R. Jr., Siddiolo, A.M. Review of advanced acoustical imaging acoustical imaging techniques for nondestructive

evaluation of art objects // RNDE.– 2006. – Vol. 17. – P. 191–204.

5. Berger, G.A., Russell, W.H. Interaction between Canvas and Paint Film in Response to Environmental Changes // *Studies in Conservation*.– 1994. – Vol.39, No.2. – P. 73–86.

6. Sayre, E.V., Majewski, L.J. Technical Investigation of the Deterioration of the Paintings // *Studies in Conservation*.– 1963. – Vol.8, No.2. – P. 42–54.

7. Guidelines for Control and Prevention of Termite Infestation in Archives and Libraries // New Delhi: National Archives of India, 1991.

8. Jeyraj, V. Care of Archival Materials // Thanjavur Saraswati Mahal Series No: 395.– 1995.

9. Repair and Preservation of Records // New Delhi: National Archives of India.– 1988.

10. Kizlasov, L.R. Arheologicheskie issledovaniya na gorodishe Ak-Beshim v 1953–1954 gg. // Trudi Kirgizskoy arheologo-etbographicheskoy ekspedicii. T. 2. M., 1959.

11. McCrone, W.C. Microscopical examination of art and archeological objects // SPIE Conf. on Scientific Detection of Fakery in Art. SPIE, 1998. – Vol. 3315. – P. 1–9.

12. Florentine, F. Museums and the Green World // LD+A Museum on Display.– 2009. – Vol. 39, No. 2. – P. 47–49.



Анубрата Мондал (Anubrata Mondal), M. Tech.

Зав. кафедрой электротехники Южно-Калкутского политехнического университета, Колката, Индия



Камалика Гхош (Kamalika Ghosh),

Ph.D. Доцент Школы науки, техники и проектирования освещения Джадавпурского университета. Пожизненный член Института

инженеров, Индия, и Индийского общества инженеров-светотехников. Автор 50 статей