

УДК 677.017.84

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2019.4.9>

О.Я. СЕМЕШКО

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-8309-5273

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ НА СТІЙКІСТЬ ЗАБАРВЛЕНЬ АКТИВНИМИ БАРВНИКАМИ ДО СВІТЛА

*Мета роботи полягає дослідженні впливу природи текстильних матеріалів із натуральних волокон на процес фотодеструкції забарвлень, отриманих активними барвниками, на прикладі бавовняного та вовняного трикотажу.*

*Досліджування здійснювалось з використанням целюлозного та білкового трикотажних полотен, які були підготовлені способом пероксидного відбілювання. Фарбування текстильних матеріалів здійснювалось з використанням активних барвників Reactive Red 2 (активний червоний 5СХ) та Reactive Orange 125 (активний оранжевий ЖТ) за відповідними режимами. Для пофарбованих зразків трикотажу була досліджена кінетика фотодеструкції забарвлень. Інсоляцію зразків здійснювали на приладі з ртутно-вольфрамовою лампою RF 1201 BS («REFOND») з періодичним визначенням кольорних відмінностей забарвлень за допомогою колориметра PCE-TCR 200. Також на основі отриманих кінетичних кривих фотодеструкції графічним методом визначено половинний час фотодеструкції досліджуваних барвників та розраховані коефіцієнти фотодеструкції, які характеризують швидкість руйнування барвників під дією світла на кожному зі зразків трикотажу.*

*У роботі наведені результати дослідження залежності світлостійкості забарвлень, отриманих активними барвниками на трикотажі, від хімічної будови текстильного матеріалу. Встановлено, що фотодеструкція одних і тих же активних барвників на бавовняному та вовняному текстильних матеріалах відбувається по-різному. Швидкість фотодеструкції активних барвників на вовні в порівнянні з бавовною знижується на 10-36%, що обумовлено утворенням продуктів з різним окисно-відновним потенціалом при деструкції целюлози та білку під дією світла. Не дивлячись на різний механізм фотодеструкції природніх волокон даний процес в обох випадках супроводжується розривом зв'язків у полімерній матриці, що призводить до втрати міцності волокон, а у випадку вовни – це до її пожовтіння*

*Ключові слова: бавовняний трикотаж, вовняний трикотаж, активні барвники, кольорні відмінності, кінетика фотодеструкції, фотоокислення.*

О.Я. СЕМЕШКО

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-8309-5273

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОКРАСОК АКТИВНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ К СВЕТУ

*Цель работы заключается исследовании влияния природы текстильных материалов из натуральных волокон на процесс фотодеструкции окрасок, полученных активными красителями, на примере хлопкового и шерстяного трикотажа.*

*Исследование проводилось с использованием целлюлозного и белкового трикотажных полотен, которые были подготовлены способом пероксидного отбеливания. Крашения текстильных материалов осуществлялось с использованием активных красителей Reactive Red 2 (активный красный 5СХ) и Reactive Orange 125 (активный оранжевый ЖТ) по соответствующим режимам. Для окрашенных образцов трикотажа была исследована кинетика фотодеструкции окрасок. Инсоляцию образцов осуществляли на приборе с ртутно-вольфрамовой лампой RF 1201 BS («REFOND») с периодическим определением цветовых различий окрасок с помощью колориметра PCE-TCR 200. Также на основе полученных кинетических кривых фотодеструкции графическим методом определено время половиной фотодеструкции исследуемых красителей и рассчитаны коэффициенты фотодеструкции, характеризующие скорость разрушения красителей под действием света на каждом из образцов трикотажа.*

*В работе представлены результаты исследования зависимости светостойкости окрасок, полученных активными красителями на трикотаже, от химического строения текстильного материала. Установлено, что фотодеструкция одних и тех же активных красителей на хлопковом и шерстяном текстильных материалах происходит по-разному. Скорость фотодеструкции активных*

красителей на шерсти по сравнению с хлопком снижается на 10-36%, что обусловлено образованием продуктов с различным окислительно-восстановительным потенциалом при действии света на целлюлозу и белок. Несмотря на разный механизм фотодеструкции природных волокон данный процесс в обоих случаях сопровождается разрывом связей в полимерной матрице, что приводит к потере прочности волокон, а в случае шерсти – еще к ее пожелтению.

Ключевые слова: хлопчатобумажный трикотаж, шерстяной трикотаж, активные красители, цветовые различия, кинетика фотодеструкции, фотоокисление.

O.Ya. SEMESHKO  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8309-5273

## STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL NATURE OF TEXTILE MATERIALS ON THE COLOR FASTNESS BY REACTIVE DYES TO THE LIGHT

*The purpose of the paper is to study the influence of the nature of textile materials made from natural fibers on the photodestruction process of dyes obtained with reactive dyes, using the example of cotton and wool knitted fabrics.*

*The study was carried out using cellulose and protein knitted fabrics, which were prepared by the method of peroxide bleaching. Dyeing of textile materials was carried out using reactive dyes Reactive Red 2 and Reactive Orange 125 according to the corresponding modes. For colored knitted fabrics samples, the kinetics of photodestruction of reactive dyes was studied. The samples were insolated on a device with a Mercury-Tungsten lamp RF 1201 BS ("REFOND") with periodic determination of color differences of colours using a PCE-TCR 200 colorimeter. Also, on the basis of the obtained kinetic curves of photodegradation, the time of half the photodestruction of the studied dyes was determined using the graphical method and photodestruction coefficients characterizing the rate of destruction of the dyes under the action of light on each knitted fabrics sample were calculated.*

*The paper presents the results of a study of the dependence of the light fastness of dyes obtained by reactive dyes on knitted fabrics on the chemical structure of textile material. It was found that photodestruction of the same reactive dyes on cotton and wool textile materials occurs in different ways. The photodestruction rate of reactive dyes on wool compared with cotton is reduced by 10-36%, which is due to the formation of products with different redox potential under the action of light on cellulose and protein. Despite the different mechanism of photodestruction of natural fibers, this process in both cases is accompanied by breaking bonds in the polymer matrix, which leads to a loss of fiber strength, and in the case of wool, to its yellowing.*

*Keywords: cotton knitted fabrics, wool knitted fabrics, active dyes, color differences, photodestruction kinetics, photooxidation.*

### Постановка проблеми

Відомо, що в процесі експлуатації під впливом різноманітних фізико-хімічних факторів, відбувається зношування текстильних матеріалів. Оскільки географічно Україна розташована так, що кількість сонячних днів складає 270-320 на рік, дія світла є одним із вагомих факторів, що впливають на зовнішній вигляд одягу незалежно від сезону [1]. Здатність тканини зберегти свій первісний колір є однією з найважливіших властивостей текстильного матеріалу. Стійкість кольору або збереження кольору тканин залежить від ряду чинників, як від час виготовлення текстильного матеріалу, так і під час експлуатації готових виробів.

Вовняні та бавовняні текстильні вироби здавна і до цього часу користуються надзвичайним попитом у споживачів завдяки унікальним властивостям, якими вони володіють. Бавовняні текстильні матеріали є гігроскопічними, повітропроникними. Загалом одяг із натуральних волокон є гігієнічним. Так вовна має властивість утримувати температуру та завдяки здатності до звалювання може бути використана для виготовлення широкого асортименту текстильних матеріалів та виробів.

Процес формування високоякісного забарвлення текстильних матеріалів відбувається комплексно протягом всього циклу опорядження, тому систематичне дослідження впливу факторів основних процесів опорядження на процес формування на текстильних матеріалах із натуральних волокон забарвлень, стійких до фізико-хімічних дій, зокрема до дії світла, є актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Бавовняні та вовняні волокна є природними волокнами рослинного та тваринного походження відповідно. Бавовна на 92-98% складається з целюлози – природного полімеру із групи полісахаридів. Елементарною ланкою целюлози є  $\alpha$ -глюкоза, яка є гетероциклом, оскільки містить у пірановому кільці крім п'яти атомів карбону один атом кисню. Крім цього, другий та третій атоми карбону гетероциклу целюлози містять гідроксили, що утворюють гліколеве угруповання. Біля шостого атома карбону, поза циклом знаходиться первинна гідроксильна група. За хімічною будовою целюлоза є багатоатомним

спиртом і є здатною до реакцій, які характерні для спиртів: утворення простих і складних ефірів, окислення, взаємодії з лужними металами тощо.

Вовна за хімічною будовою – це природний білок кератин, що має складну чотирьохрівневу структуру [2]. Структурна будова волокон вовни представлена основними корковим шаром та кутикулою, яка покриває його зовні. Хімічні властивості вовни є характерними для кератину як поліпептида з великою кількістю бічних функціональних груп. Маючи в бічних радикалах високореакційні групи  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{SH}$ ,  $-\text{S}-\text{S}-$ , а на кінцях  $-\text{NH}_2$  та  $-\text{COOH}$  групи вовна може вступати в нуклеофільні реакції окислення, відновлення, алкілювання, ацилювання тощо [3, 4].

Взагалі бавовняні текстильні матеріали можна фарбувати активними, прямими, кубовими, сірчистими барвниками за різними способами. Тип барвника та спосіб фарбування в першу чергу визначається призначенням текстильного матеріалу, а потім враховують економічні та екологічні чинники. Бавовняні трикотажні полотна, призначені для пошиття літнього одягу фарбують активними барвниками періодичним способом. Активні барвники забезпечують формування стійких до мокрих обробок і тертя яскравих забарвлень широкою кольорової гамми.

Вовняні волокна частіше за все фарбують кислотними, кислотними металовмісними та хромовими барвниками, рідше – активними.

Таким чином, оскільки світло впливає як на барвник, так і на полімерну матрицю, в якій він розподілений, від хімічної та фізичної природи цієї матриці залежить швидкість фотодеструкції барвника.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи було дослідження впливу природи текстильних матеріалів із натуральних волокон на процес фотодеструкції забарвлень активними барвниками на прикладі бавовняного та вовняного трикотажу.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

З метою вивчення впливу природи текстильних матеріалів із натуральних волокон на процес фотодеструкції забарвлень бавовняний та вовняний трикотаж були пофарбовані активними барвниками.

Основні характеристики використаних у роботі текстильних матеріалів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

#### Характеристика трикотажних полотен

Сировина	Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	Переплетення
100% бавовна	150	гладь
100% вовна	420	

Для дослідження були вибрані монофункціональні активні барвники, що рекомендовані для фарбування як бавовни, так і вовни: Reactive Red 2 (активний червоний 5CX) та Reactive Orange 125 (активний оранжевий ЖТ) [4]. Будова барвників та способи фарбування наведені у табл. 2-5 [5-7].

Таблиця 2

#### Характеристика активних барвників

Торгова назва барвника	Назва за С.І., хімічний клас хромофора
червоний 5CX	Reactive Red 2, азобарвник
<p>The chemical structure of Reactive Red 2 (5CX) is shown. It consists of a central benzene ring with a phenyl group attached via an azo group (-N=N-). The central ring also has a hydroxyl group (-OH) and a sodium sulfonate group (-SO<sub>3</sub>Na) at the 5-position. At the 4-position, there is a diazotriazine ring system with two chlorine atoms (-Cl) attached to the nitrogen atoms.</p>	
оранжевий ЖТ	Reactive Orange 125, азобарвник
<p>The chemical structure of Reactive Orange 125 (ЖТ) is shown. It features a central benzene ring with a methoxy group (-OMe) and a sodium sulfonate group (-SO<sub>3</sub>Na) attached. This ring is connected via an azo group (-N=N-) to another benzene ring that has a hydroxyl group (-OH) and a sodium sulfonate group (-SO<sub>3</sub>Na) attached. A third benzene ring is attached to the second ring via another azo group (-N=N-), with a sodium sulfonate group (-SO<sub>3</sub>Na) and a sodium sulfonate ethyl ether group (-SO<sub>3</sub>SOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S) attached to it.</p>	

Обрані активні барвники за реакційною здатністю є дихлортриазиновим та вінілсульфоновим активними барвниками відповідно, а за хімічною будовою хромофору – азобарвниками [8].

Таблиця 3

Умови фарбування бавовняного трикотажу	
Склад ванни	Режим
<b>Активний червоний 5СХ</b>	
Модуль ванни М=50. А: барвник – 1% від маси текстильного матеріалу; Б: натрій хлорид – 50 г/л (50%); В: натрій хлорид – 50 г/л (50%); Г: натрій карбонат – 4 г/л (50%); Д: натрій карбонат – 4 г/л (50%).	
<b>Активний оранжевий ЖТ</b>	
Модуль ванни М=50. А: барвник – 1-3% від маси текстильного матеріалу; Б: натрій хлорид – 40 г/л; Д: натрій карбонат – 20 г/л.	

Після фарбування зразки трикотажу незалежно від технології фарбування підлягали промиванню, режим якого наведений у табл. 3.

Таблиця 4

**Режим промивання бавовняного трикотажу після фарбування активними барвниками**

Ванна	Склад	Режим
1-ша	Оцтова кислота 30%-ова – 0,5 мл/л	T = 50°C, τ = 10 хв.
2-га	Гаряча вода	T = 70°C, τ = 10 хв.
3-тя	Егіорон R – 1 г/л	T = 100°C, τ = 10 хв.
4-та	Гаряча вода	T = 70°C, τ = 10 хв.
5-та	Холодна вода	T = 25°C, τ = 10 хв.

Після промивання за наведеним режимом зразки бавовняного трикотажу сушили.

Таблиця 5

Умови фарбування вовняного трикотажу	
Склад ванни	Режим
Модуль ванни М=50. А: барвник – 1% від маси текстильного матеріалу, сірчаноокислий амоній – 2%, сірчаноокислий натрій – 10%, оцтова кислота – до рН 5,5-6; Б: аміак – до рН 8-8,5; В: вода.	

Фарбуванню піддавали бавовняний трикотаж, що був підготовлений за одностадійним сумішним способом промивання та пероксидного біління, та вовняний трикотаж, підготовлений способом пероксидного біління.

Забарвлені зразки текстильних матеріалів з натуральних волокон були проінсолзовані протягом 320 год. на приладі з ртутно-вольфрамовою лампою RF 1201 BS («REFOND») з періодичним визначенням кольірних відмінностей забарвлень на колориметрі PCE-TCR 200.

На рис. 1. наведені результати визначення кінетики фотодеструкції забарвлень досліджуваними активними барвниками на бавовняному та вовняному трикотажі.

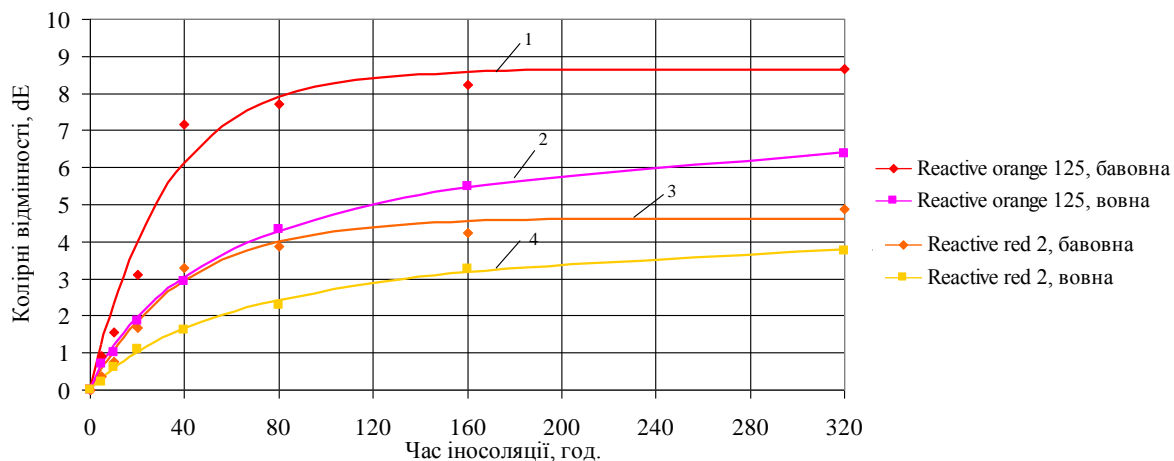


Рис. 1. Кінетика вигорання забарвлень активними барвниками:  
а) на бавовняному трикотажі; б) на вовняному трикотажі:

$$1 - y = 8,620(1 - e^{-0,031x}), S=0,687, R=0,985; \quad 2 - y = \frac{0,573 + 7,954 \cdot x^{0,915}}{47,776 + x^{0,915}}, S=0,078, R=0,999;$$

$$3 - y = 4,612(1 - e^{-0,025x}), S=0,207, R=0,995; \quad 4 - y = \frac{-1,035 + 4,792 \cdot x^{0,954}}{64,694 + x^{0,954}}, S=0,091, R=0,999$$

Отримані результати свідчать про те, що фотодеструкція одних і тих же активних барвників на бавовняному та вовняному текстильних матеріалах відбувається по-різному. Досліджувані активні барвники швидше руйнуються на бавовні, на вовні цей процес проходить значно повільніше. Кінетичні криві фотодеструкції дихлортриазинового барвника Reactive Red 2 показують, що за 80 год. дії світла на целюлозному текстильному матеріалі кольірні відмінності досягають 4 ум. од., а на білковому – 2,3 ум. од. Подібна тенденція зберігається і для вінілсульфонового Reactive Orange 125. За такий же час інсоляції кольірні відмінності для бавовняного трикотажу складають 7,9 ум. од., для вовняної тканини – 4,3 ум. од.

Для оцінки швидкості фотодеструкції за аналогією з процесом фарбування за отриманими кінетичними кривими фотодеструкції барвників графічним методом був розрахований час половинної фотодеструкції  $t_{1/2}$  (табл. 6) та коефіцієнт фотодеструкції активних барвників (рис. 2) на бавовняному та вовняному трикотажі. Чим більший коефіцієнт фотодеструкції, тим більша швидкість руйнування барвників під дією світла.

Таблиця 6

Барвник	Час половинної фотодеструкції активних барвників на субстраті різної природи	
	Час половинної фотодеструкції, $t_{1/2}$ , год.	
	бавовняний трикотаж	бавовняний трикотаж
Reactive orange 125	24,6	24,6
Reactive red 2	25,8	25,8

Встановлено, що швидкість фотодеструкції активних барвників на вовні в порівнянні з бавовною знижується на 10-36%.

Знайдені результати свідчать про те, що під дією світла фотохімічні перетворення одних і тих же барвників на субстратах різної хімічної будови відбуваються різним чином. Більш повільний процес фотодеструкції активних барвників на білковому субстраті в порівнянні з целюлозним можна пояснити виходячи з механізму деструкції полімерів під дією світла.

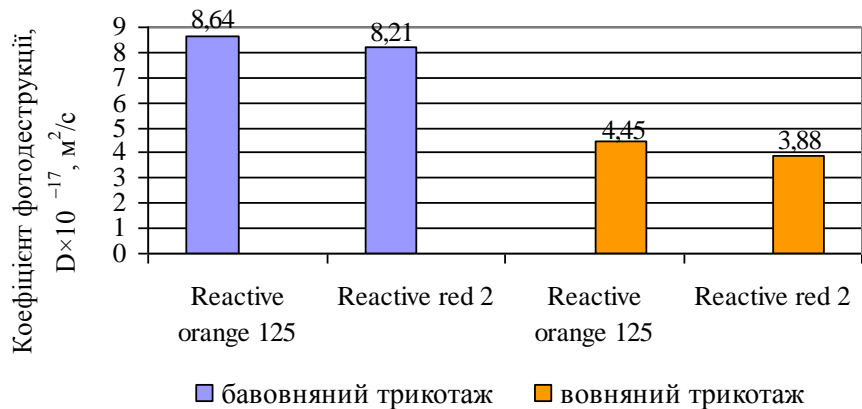


Рис. 2. Коефіцієнт фотодеструкції активних барвників на субстраті різної природи

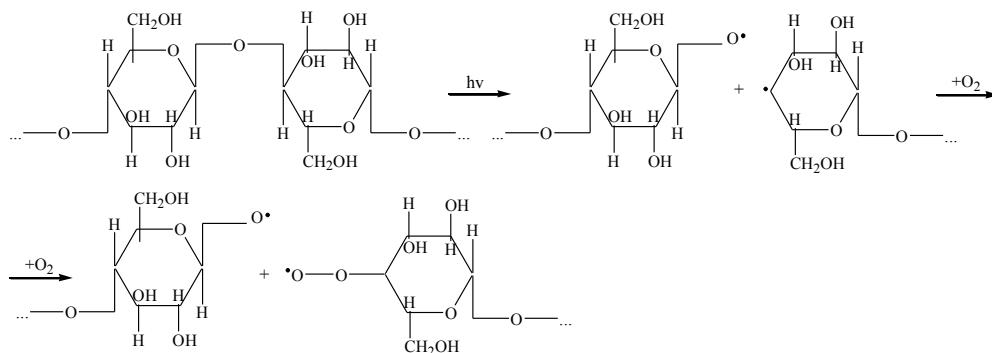


Рис. 3. Схема реакції фотоокислення целюлози

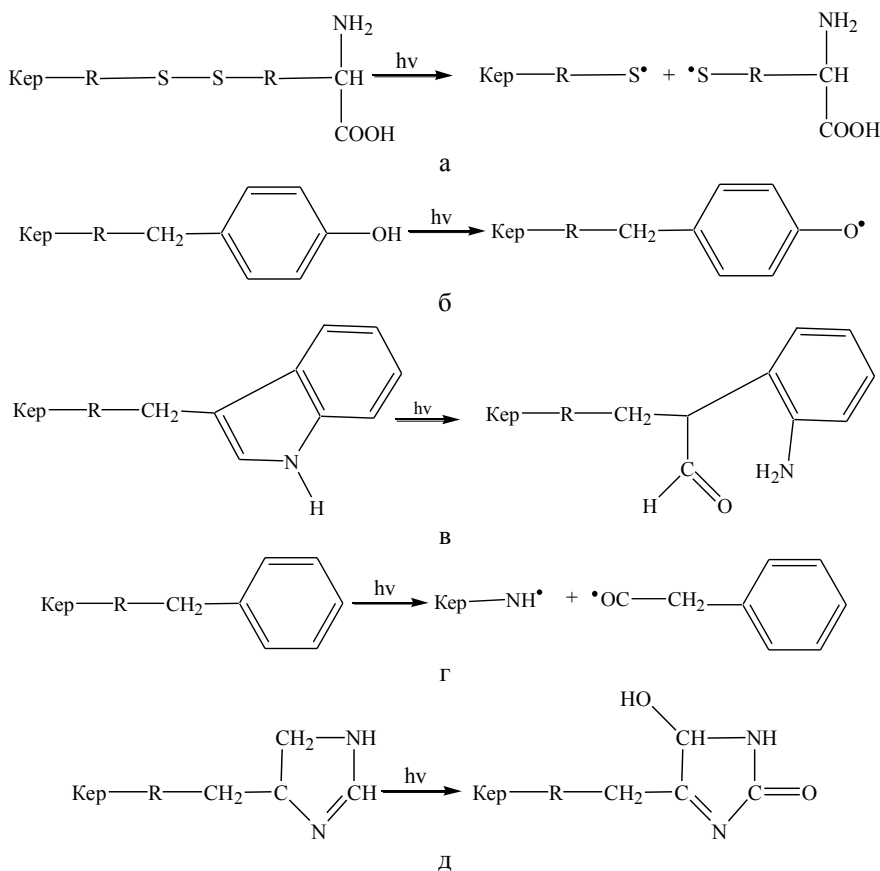
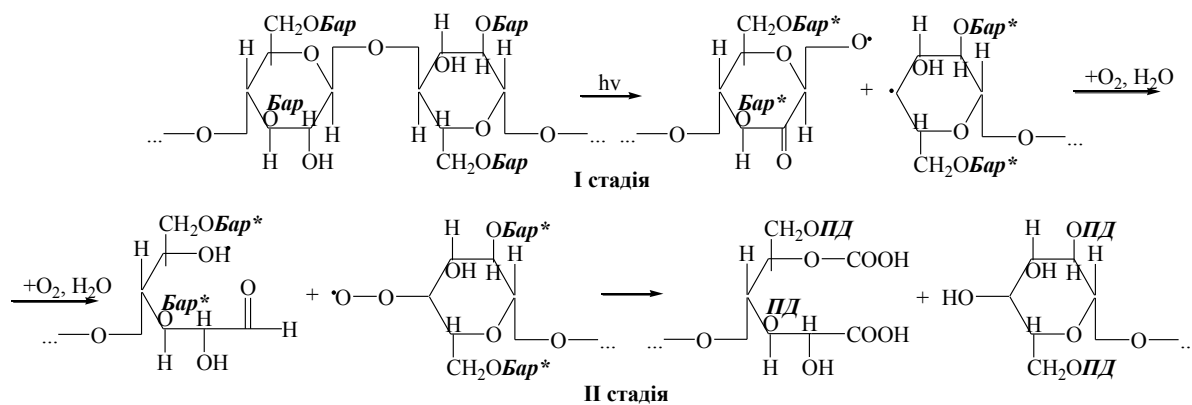


Рис. 4. Схеми реакцій фотоокислення бокових амінокислотних залишків кератину вовни: а) цистин; б) тирозин; в) триптофан; г) фенілаланін; д) гістидин

Відомо, що фото- та фотоокисна деструкції целюлози відбуваються з утворенням вільних радикалів, які здатні взаємодіяти з киснем і вологою повітря з утворенням пероксидів (рис. 3) [9-11].

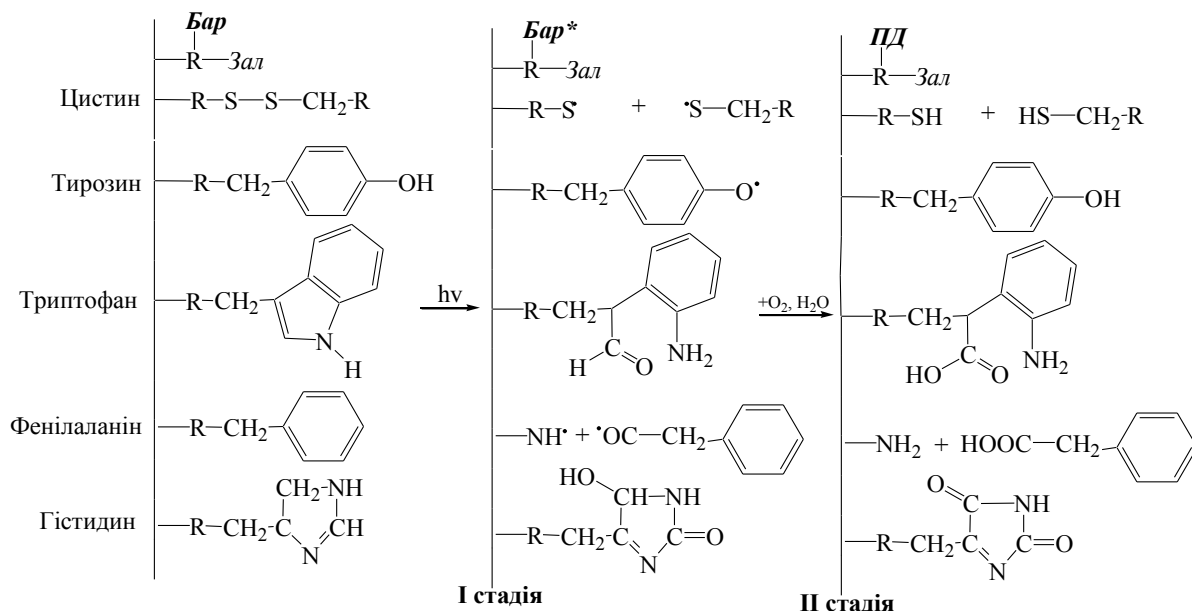
Фотохімічні реакції у вовні, що супроводжуються пожовтінням волокна [12-14], викликані фотоперетвореннями в присутності кисню обмеженої кількості хромофорних амінокислотних залишків – цистину (рис. 4а), тирозину (рис. 4б) і триптофану (рис. 4в), а також фенілаланіну (рис. 4г) та гістидину (рис. 4д) [9, 15-18].

Таким чином, на бавовняному субстраті крім кисню, що знаходиться у атмосфері, активні барвники додатково атакують радикали та пероксида, які виділяються при фотоокисленні целюлози, що прискорює процес фотодеградації барвників на бавовняному трикотажі як це представлено на схемі розробленого механізму фотодеструкції барвників на целюлозному волокні на рис. 5.



**Рис. 5. Механізм фотодеструкції барвників на целюлозному волокні:**  
**Бар – барвник; Бар\* – барвник у збудженому стані; ПД – продукти деструкції барвника**

На відміну від бавовни, деякі амінокислотні залишки, зокрема триптофану (рис. 4в) і гістидину (рис. 4д), проявляють відновні властивості. Ймовірно вказані амінокислоти під час опромінення забарвленого вовняного текстильного матеріалу реагують з киснем повітря і гальмують фотоокисну деструкцію барвника. Розроблений механізм фотодеструкції барвників на білковому волокні зображений на рис. 6.



**Рис. 6. Механізм фотодеструкції барвників на білковому волокні:**  
**Зал – будь-який амінокислотний залишок R – пептидний зв'язок —NH—CO—**

Таким чином, більш повільний процес фотодеструкції активних барвників на білковому субстраті в порівнянні з целюлозним можна пояснити виходячи з механізмів деструкції полімерів під дією світла, а саме утворенням продуктів з різним окисно-відновним потенціалом. На бавовняному волокні

утворюються продукти тільки окисної природи, які прискорюють реакцію фотодеструкції барвників. А на білковому волокні під дією світла утворюються продукти, здатні до відновлення. Саме вони гальмують процес фотодеструкції барвників на вовняному волокні.

Крім того слід зазначити, що не дивлячись на різний механізм фотодеструкції природних волокон даний процес в обох випадках супроводжується розривом зв'язків у полімерній матриці, що призводить до втрати міцності волокон, а у випадку вовни – ще й до її пожовтіння.

#### Висновки

Таким чином, на основі дослідження кінетики фотодеструкції забарвлень активними барвниками на бавовняному та вовняному трикотажних полотнах та розрахунку часу половинної фотодеструкції та коефіцієнтів фотодеструкції для забарвлених зразків встановлено, що досліджувані активні барвники швидше руйнуються на бавовні, а на вовні цей процес проходить значно повільніше; при цьому швидкість фотодеструкції активних барвників на вовні в порівнянні з бавовною знижується на 10-36%.

Згідно з запропонованим механізмом фотодеструкції забарвлених целюлозного та білкового полімеру на бавовняному волокні утворюються продукти тільки окисної природи, які прискорюють реакцію фотодеструкції барвників. На білковому волокні під дією світла утворюються продукти, здатні до відновлення, які гальмують процес фотодеструкції барвників на вовняному волокні.

#### Список використаної літератури

1. Український гідрометеорологічний центр. URL: [https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate\\_stations](https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations)
2. Новорадовская Т.С., Садова С.Ф. Химия и химическая технология шерсти. Москва: Легпромбытиздат, 1986. 200 с.
3. Александер П., Хадсон Р.Ф. Физика и химия шерсти: [пер. англ. К.К. Лупандина, В.М. Бутовича; под ред. А.И. Матецкого, Х.Л. Зайдес]. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по легкой промышленности, 1958. 392 с.
4. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. В 3 т. Т. 1. Теоретические основы технологии. Волокна. Загрязнения. Подготовка текстильных материалов. Москва: Росс. заоч. ин-т. текстильной и легкой промышленности, 2000. 436 с.
5. Степанов Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей. Москва: Химия, 1984. 592 с.
6. Лабораторный практикум по химической технологии текстильных материалов: [под ред. Г.Е. Кричевского]. Москва: Росс. заоч. ин-т. текстильной и легкой промышленности, 1995. 414 с.
7. Красители для текстильной промышленности. Колористический справочник: [под ред. А.Л. Бяльского, В.В. Карпова]. – Москва: Химия, 1971. 312 с.
8. Андросов В.Ф., Петрова И.Н. Синтетические красители в легкой промышленности. Москва: Легпромбытиздат, 1989. 368 с.
9. Шляпинтох В.Я. Фотохимические превращения и стабилизация полимеров./ В.Я. Шляпинтох. – М.: Химия, 1979. – 344 с.
10. Рэнби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. Москва: Мир, 1978. – 676 с.
11. Desai R.L., Shields J.A. Photochemical degradation of cellulose material. Die Makromolekulare Chemie. 1969. Vol. 122(1). P. 134-144. doi:10.1002/macp.1969.021220111.
12. Lennox F.G. A spectrophotometric study of yellowing in wool fabric. Journal of the Textile Institute Transactions. 1960. Vol. 51(12). P. 1193-1209. doi:10.1080/19447026008662555.
13. Lennox F.G., Inglis A.S., Holt L.A. Studies in Wool Yellowing. Textile Research Journal. 1966. Vol. 36(9). P. 837-843. doi:10.1177/004051756603600911.
14. Millington K.R. Photoyellowing of wool. Part 2: Photoyellowing mechanisms and methods of prevention. Coloration Technology. 2006. Vol. 122(6). P. 301-316. doi:10.1111/j.1478-4408.2006.00045.x.
15. Creed D. The photophysics and photochemistry of the near-UV absorbing amino acids-i. Tryptophan and its simple derivatives. Photochemistry and Photobiology. 2008. Vol. 39(4). P. 537-562. doi:10.1111/j.1751-1097.1984.tb03890.x.
16. Creed D. The photophysics and photochemistry of the near-UV absorbing amino acids-ii. Tyrosine and its simple derivatives. Photochemistry and Photobiology. 2008. Vol. 39(4). P. 563-575. doi:10.1111/j.1751-1097.1984.tb03891.x.
17. Creed D. The photophysics and photochemistry of the near-UV absorbing amino acids-iii. Cystine and its simple derivatives. Photochemistry and Photobiology. 2008. Vol. 39(4). P. 577-583. doi:10.1111/j.1751-1097.1984.tb03892.x.
18. Pattison D.I., Rahmanto A.S., Davies M.J. Photo-oxidation of proteins. Photochem. Photobiol. Sci. 2012. Vol. 11(1). P. 38–53. doi:10.1039/c1pp05164d.



## References

1. Ukraïns'kiy gidrometeorologichniy tsentr [Ukrainian Hydrometeorological Center]. Retrieved from [https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate\\_stations/](https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/) [in Ukraine].
2. Novoradovskaya T.S., Sadova S.F. (1986). Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya shersti [Chemistry and chemical technology of wool]. Moscow, Russia: Legprombytizdat [in Russian].
3. Aleksander P., Khadson R.F. (1958). Fizika i khimiya shersti [Physics and chemistry of wool]. Moscow, Russia: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo literatury po legkoy promyshlennosti [in Russian].
4. Krichevskij, G. E. (2000). Himicheskaya tekhnologiya tekstil'nyh materialov. T. 1. Teoreticheskie osnovy tekhnologii. Volokna. Zagryazneniya. Podgotovka tekstil'nyh materialov [Chemical technology of textile materials. V. 1. Theoretical foundations of technology. Fibers. Contamination. Pre-treatment of textile materials]. (Vols. 1–3; Vol. 1). Moscow, Russia: Ross. zaoch. in-t. tekstil'noj i legkoy promyshlennosti [in Russian].
5. Stepanov, B.I. (1984). Vvedeniye v khimiyu i tekhnologiyu organicheskikh krasiteley [Introduction to the chemistry and technology of organic dyes]. Moscow, Russia: Khimiya [in Russian].
6. Laboratornyy praktikum po khimicheskoy tekhnologii tekstil'nykh materialov [Laboratory Workshop on Chemical Technology of Textile Materials]. (1995). Edited by G.Ye. Kricheskiy. Moscow, Russia: Ross. zaoch. in-t. tekstil'noj i legkoy promyshlennosti [in Russian].
7. Krasiteli dlya tekstil'noj promyshlennosti. Koloristicheskiy spravochnik [Dyes for the textile industry. Color Guide]. (1971). Edited by A.L. Byal'sksy, V.V. Karpov. Moscow, Russia: Khimiya [in Russian].
8. Androsoy V.F., Petrova I.N. (1989). Sinteticheskiye krasiteli v legkoy promyshlennosti [Synthetic dyes in light industry]. Moscow, Russia: Legprombytizdat [in Russian].
9. Shlyapintokh V.YA. (1979). Fotokhimicheskkiye prevrashcheniya i stabilizatsiya polimerov [Photochemical transformations and stabilization of polymers]. Moscow, Russia: Khimiya [in Russian].
10. Renbi B., Rabek Ya. (1978). Fotodestruktsiya, fotooksileniye, fotostabilizatsiya polimerov [Photodestruction, photo-oxidation, photo-stabilization of polymers]. Moscow, Russia: Mir [in Russian].
11. Desai R.L., Shields J.A. Photochemical degradation of cellulose material. *Die Makromolekulare Chemie*, 1969, vol. 122(1), p. 134-144. doi:10.1002/macp.1969.021220111.
12. Lennox F.G. A spectrophotometric study of yellowing in wool fabric. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1960, vol. 51(12), p. 1193-1209. doi:10.1080/19447026008662555.
13. Lennox F.G., Inglis A.S., Holt L.A. Studies in Wool Yellowing. *Textile Research Journal*, 1966, vol. 36(9), p. 837-843. doi:10.1177/004051756603600911.
14. Millington K.R. Photoyellowing of wool. Part 2: Photoyellowing mechanisms and methods of prevention. *Coloration Technology*, 2006, vol. 122(6), p. 301-316. doi:10.1111/j.1478-4408.2006.00045.x.
15. Creed D. The photophysics and photochemistry of the near-UV absorbing amino acids-i. Tryptophan and its simple derivatives. *Photochemistry and Photobiology*, 2008, vol. 39(4), p. 537-562. doi:10.1111/j.1751-1097.1984.tb03890.x.
16. Creed D. The photophysics and photochemistry of the near-UV absorbing amino acids-ii. Tyrosine and its simple derivatives. *Photochemistry and Photobiology*, 2008, vol. 39(4), p. 563-575. doi:10.1111/j.1751-1097.1984.tb03891.x.
17. Creed D. The photophysics and photochemistry of the near-UV absorbing amino acids-iii. Cystine and its simple derivatives. *Photochemistry and Photobiology*, 2008, vol. 39(4), p. 577-583. doi:10.1111/j.1751-1097.1984.tb03892.x.
18. Pattison D.I., Rahmanto A.S., Davies M.J. Photo-oxidation of proteins. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2012, vol. 11(1), p. 38–53. doi:10.1039/c1pp05164d.