

ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЧОВИХ ДОКАЗІВ

THE ISSUES OF PHYSICAL EVIDENCE RESEARCH

УДК 343.98.065:535.341.08

doi: 10.37025/1992-4437/2019-31-1-55

М. Ю. Ромбовський, кандидат фізико-математичних наук

M. Rombovskyi, *Ph.D in Physics and Mathematics Sciences*

Р. В. Радченко

R. Radchenko

*Сумський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Sumy Scientific Research Forensic Center,
MIA of Ukraine*

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ ГУСТИНИ СКЛА ЯК ЗАГАЛЬНОЇ ОЗНАКИ ПІД ЧАС ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЦІЛОГО ЗА ЙОГО ЧАСТИНАМИ

THE DETERMINATION OF OPTICAL DENSITY OF GLASS AS A GENERAL FEATURE DURING THE IDENTIFICATION OF THE WHOLE BY ITS PARTS

Метою статті є оцінка можливості визначення оптичної густини прозорих матеріалів як загальної їх ознаки під час ідентифікації цілого за його частинами з використанням замість обладнання, що дорого коштує, загальнодоступних матричних фотоприймачів: сучасних приладів із зарядовим зв'язком – ПЗЗ-матриць або комплементарною логікою на транзисторах – КМОН-матриць (метал – оксид – напівпровідник), в основі вимірювання фотометричної інформації яких лежить їх властивість сприймати найменші зміни яскравості об'єкта. Дослідженням підтверджено доцільність використання зазначених матричних фотоприймачів для реєстрації ослаблення інтенсивності падаючого світла під час проходження крізь прозорі скляні пластини, отримання цифрових зображень із фотознімків пластин скла рівної товщини (5 мм) і приблизно однакової площі поверхні (625 мм²) у рівномірному світлі, визначення за величиною цього ослаблення оптичної густини скла. Розроблено на основі пакета прикладних програм числового аналізу MATLAB робочу комп'ютерну програму, яка уможливує автоматичний порівняльний аналіз досліджуваних зразків скла за їх цифровими зображеннями й за допомогою якої можна отримати значення оптичної густини скла. Поставлену мету статті досягнуто системним підходом до вирішення завдань дослідження, а достовірність отриманих результатів і висновків забезпечено застосуванням різних методів, а саме: фізичного – для дослідження фізичних ознак матеріалу, математичного – для розрахунків за отриманими даними, загальнологічних, зокрема синтезу та аналізу, у тому числі статистичного, в межах яких виявлено форми взаємодії елементів цілого, а також узагальнення.

Ключові слова: ідентифікація цілого за його частинами; трасологічні дослідження; оптична густина; ПЗЗ-структура, КМОН-структура.

Целью статьи является оценка возможности определения оптической плотности прозрачных материалов как общего их признака при идентификации целого по его частям с использованием вместо дорогостоящего оборудования общедоступных матричных фотоприемников: современных приборов с зарядовой связью – ПЗС-матриц или комплементарной логикой на транзисторах – КМОП-матриц (металл – оксид – полупроводник), в основе измерения фотометрической информации которых лежит их свойство воспринимать малейшие изменения яркости объекта. Исследованием подтверждена целесообразность использования указанных матричных фотоприемников для регистрации ослабления интенсивности падающего света при прохождении сквозь прозрачные стеклянные пластины, получения цифровых изображений с фотоснимков пластин стекла равной толщины (5 мм) и приблизительно одинаковой площади поверхности (625 мм²) в равномерном свете, определения по величине этого ослабления оптической плотности стекла. Разработана на основе пакета прикладных программ числового анализа MATLAB рабочая компьютерная программа, которая делает возможным автоматический сравнительный анализ исследуемых образцов стекла по их цифровым изображениям и с помощью которой можно получить значения оптической плотности стекла. Поставленная цель статьи достигнута системным подходом к решению задач исследования, а достоверность полученных результатов и выводов обеспечена применением различных методов, а именно: физического – для исследования физических признаков материала, математического – для расчетов по полученным данным, общелогических, в частности синтеза и анализа, в том числе статистического, в рамках которых выявлены формы взаимодействия элементов целого, а также обобщения.

Ключевые слова: идентификация целого по его частям; трасологические исследования; оптическая плотность; ПЗС-структура, КМОП-структура.

The purpose of the article is to evaluate the possibility of determining the optical density of transparent materials as their general feature while identifying the whole by its parts using, instead of expensive equipment, publicly available matrix photodetectors: modern charge-coupled devices – CCD-matrixes and or complementary logic transistors – CMOS-matrixes (metal-oxide-semiconductor), the basis of which is their ability to perceive the smallest changes in the brightness of the object. The research confirmed the feasibility of using these matrix photodetectors to record the attenuation of the intensity of incident light as it passes through transparent glass plates, to obtain digital images from photographs of plates of glass of equal thickness (5 mm) and approximately the same surface area (625 mm²) in uniform light, to determine by the magnitude of this attenuation the glass optical density. Developed on the basis of the MATLAB numerical analysis suite of applications, it is a working computer program that enables automatic comparative analysis of the examined glass samples by their digital images and by which the optical density of the glass can be obtained. The purpose of the article was achieved through a systematic approach of solving research issues, and the reliability of the obtained results and conclusions is ensured by the use of different methods namely: physical – to study the physical characteristics of the material; mathematical – to calculate the data obtained; general, in particular, synthesis and analysis, including statistical one, within which the forms of interaction of elements of the whole as well as generalizations are revealed.

Keywords: identification of the whole by its parts; traces research; optical density; CCD-structure, CMOS-structure.

Як відомо, встановлення цілого за його частинами – різновид трасологічної експертизи, результати якої (у разі позитивного висновку експерта) мають важливе доказове значення і незрідка є єдиною можливістю встановлення обставин справи. Для цього застосовують прийоми та методи, передбачені методиками трасологічної експертизи. За потреби комплексного вирішення питань експертизи можуть використовуватися фізичні, хімічні, біологічні та інші методи дослідження. У кожному конкретному випадку вибір методів залежить від характеру об'єктів, їх конструктивного виконання тощо (Kofanov, Voloshyn, & Litvinova, 2010; Kostrub, Gryshhenko, Shhyrba, & Chashnyczka, 2015; Granovskiy, 2006).

Можливість встановлення належності частин одному цілому визначають за фізичною будовою об'єкта та структурою його матеріалу. Серед фізичних характеристик скла – його оптична густина або екстинкція (D_{λ} – стала характеристика для прозорих матері-

алів однакової товщини і матеріалів однакової групової належності). А отже її можна використовувати як загальну ознаку під час ідентифікації цілого за його частинами.

Оптичну густину як міру прозорості речовини визначають за формулою (Romanyuk, Krochuk, & Pashuk, 2012):

$$D_{\lambda} = \lg \frac{I_0}{I},$$

де: I_0 – інтенсивність падаючого світла;

I – інтенсивність світла, що проходить крізь об'єкт.

Визначення оптичної густини є фізико-хімічним дослідженням, окремі аспекти якого стали предметом наукових розробок таких науковців, як: Н. К. Адам, Н. М. Асмолова, В. Г. Беліков, Р. Бунзен, О. І. Гризодуб, І. М. Дубовкін, М. Г. Левін, Б. М. Лотвін, Л. В. Лютін, М. Р. Якубов та ін.

Метою цієї статті є оцінка можливості визначення оптичної густини прозорих матеріалів із застосуванням загальнодоступних* матричних фотоприймачів: сучасних приладів із зарядовим зв'язком – ПЗЗ-матриць (далі – ПЗЗ) або комплементарною логікою на транзисторах – КМОН-матриць (метал – оксид – напівпровідник; далі – КМОН) як альтернативи використання обладнання, що коштує дорого.

В основі такого методу вимірювання фотометричної інформації лежить властивість цих приладів сприймати найменші зміни яскравості об'єкта (Press, 1991; Jahne, 1995). Фотоприймачі з ПЗЗ і КМОН дають змогу представити просторовий розподіл інтенсивності світла на виході оптичної системи у вигляді еквівалентного електричного сигналу, який після кодування вводять у комп'ютер для подальшої обробки. Використання ПЗЗ і КМОН розміром (*тхпхп*) надає можливість представити зображення, що реєструються, у вигляді набору квантових величин із заданими значеннями яскравості елемента. При цьому *m* і *n* задають розміри цього цифрового зображення, а яскравість *i* може приймати визначені квантові значення залежно від типу зображення.

У системах з цифровим кодуванням кількість рівнів квантування світності зазвичай обирають такою, що дорівнює бінарному числу:

$$L = 2^b,$$

де b – кількість бінарних розрядів (біт), відведених для кодування.

Наприклад, коли $b = 1$, говорять про чорно-біле зображення (два рівні: чорне – 0, біле – 1). Зазвичай зображення кодуються 8-бітним кодом, тобто значення яскравості змінюються в діапазоні від 0 до 255, що відповідає 256 градаціям яскравості (0 – чорний колір, а 255 – білий).

Ознаками зображень, як відомо, є його відмінні характеристики та властивості. При цьому природні (яскравість, текстура, форма меж об'єктів) та штучні (гістограми розподілу яскравості, спектри просторових частот) ознаки зображення отримують за результатами їх спеціальної обробки або вимірювань (Gonsales, Vuds, & Eddins, 2012; Garkusha, & Babenko, 2008; *Leica Geosystems*, 2005).

Таким чином, за допомогою сучасних фотоприймачів з ПЗЗ або КМОН можна встановити ступінь ослаблення світла при його проходженні крізь прозоре скло і отримати значення потрібних параметрів, обробивши фотознімки за допомогою спеціальної програми.

* Зазвичай дослідження з визначення оптичної густини скла потребує застосування обладнання (денситометрів, фотоколометрів тощо), яке доволі дорого коштує.

Слід також зазначити, що ефективність фотоприймачів із ПЗР або КМОН підтверджується, зокрема, тим, що їх використовують у сучасній астрономії для пошуку екзопланет методом транзитів (Fishman, 2018; O'Donovan, Torres, Charbonneau, & Mandushev, 2008; Charbonneau, Brown, Burrows, & Laughlin, 2007).

У межах реалізації зазначеної вище мети дослідження вирішували кілька завдань, зокрема отримання цифрових зображень із фотознімків пластин скла рівної товщини й приблизно однакової площі поверхні в рівномірному світлі, а також створення робочої комп'ютерної програми, за допомогою якої можна отримати значення оптичної густини скла.

Як джерело однорідного світла використовували предметний столик мікроскопа Konus Crystal 7–45× Stereo (рис. 1), а для первинного дослідження – пластини скла площею приблизно 625 мм² і завтовшки 5 мм з одного джерела, що становило єдине ціле (рис. 2).



Рис. 1. Мікроскоп Konus Crystal 7–45x Stereo

Для дослідження фотознімків у Сумському науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі МВС України розроблено спеціальну програму, основу якої становить пакет прикладних програм числового аналізу MATLAB (рис. 3).

На початковому етапі роботи програми зчитуються повнокольорові (truecolor, rgb) зображення джерела падаючого світла та пластини, крізь яку це світло проходить (рис. 4 і 5), пікселі яких зберігають інформацію про інтенсивність кольорових складових.

Зважаючи на нечітко виражені краї скла на тлі падаючого світла, створюють спеціальну контрастну маску, яка автоматично виокремлює ділянку дослідження. Її накладають на початкові фотознімки, після чого проводять аналіз отриманих результатів.

Після програмної обробки ділянок дослідження падаючого світла і світла, яке пройшло крізь скло (рис 6), отримано гістограми залежності кількості пікселів від рівня яскравості як падаючого світла в цілому, так і окремих його кольорових складових (кожний піксель описується трьома складовими: червоною, зеленою і синьою) (рис. 7 і 8).

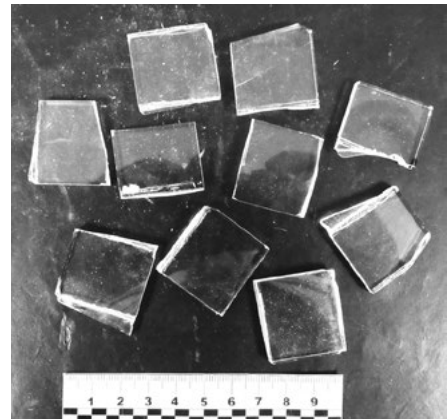


Рис. 2. Пластини скла, використовувані як матеріал дослідження

```

1  % Программа нахождения оптической плотности прозрачных объектов в
2  % проходящем свете
3
4  % -----Судиской ИДЕИЦ-----
5  % Автор: Гойбовский Николай Кривень
6  % кандидат физико-математических наук
7  % судебный эксперт
8  % -----email: goibovsky_n@ukr.net-----
9  % -----
10
11
12  clear;
13  clear;
14
15
16  Input_Image      = imread('d:\verticals\glass\IMG_1971.jpg'); % читаем файл изображения
17  Input_Image_backward = imread('d:\verticals\glass\IMG_1968.jpg'); % читаем файл изображения
18
19  imshow(Input_Image),          title('Исходное изображение'); % выводим исходное изображение на экран
20  figure, imshow(Input_Image_backward), title('Исходное изображение фона'); % выводим исходное изображение на экран
21  imwrite(Input_Image, 'D:\MATLAB\WORK\1971\1.jpg', 'jpg');
22  imwrite(Input_Image_backward, 'D:\MATLAB\WORK\1971\2_1.jpg', 'jpg')
23
24
25  % Преобразуем исследуемое изображение в бинарное
26
27
28
29  Input_Image_contrast = Input_Image; % повышение контраста изображения
30

```

Рис. 3. Скриншот части кода комп'ютерної програми для розрахунку оптичної густини



Рис. 4. Падаюче світло

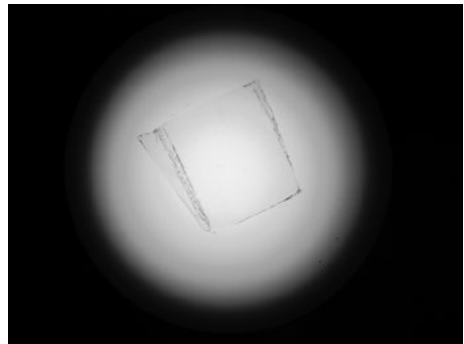
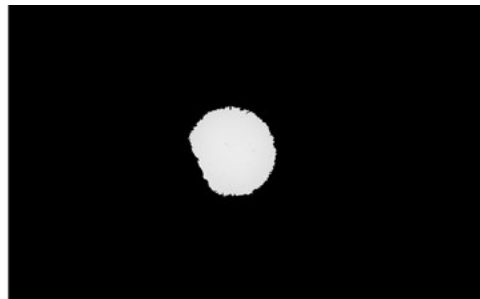


Рис. 5. Пластина скла, крізь яку проходить падаюче світло



а)



б)

Рис. 6. Обмежена ділянка дослідження: падаючого світла (а); світла, що пройшло крізь скло (б)

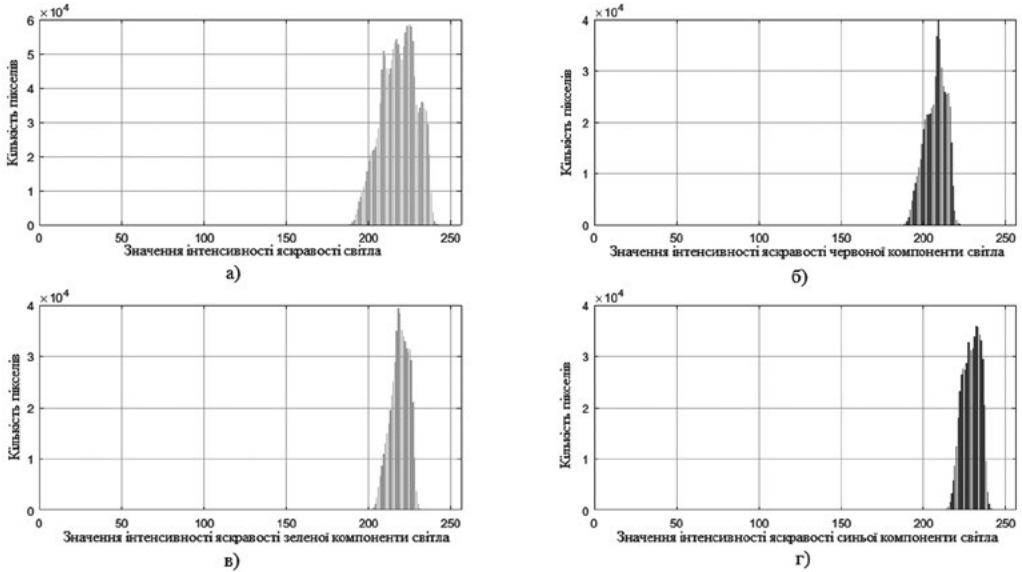


Рис. 7. Гістограми залежності кількості пікселів зображення падаючого світла від значення інтенсивності світла загалом (а) та його складових: червоної – I_r (б); зеленої – I_g (в); синьої – I_b (г)

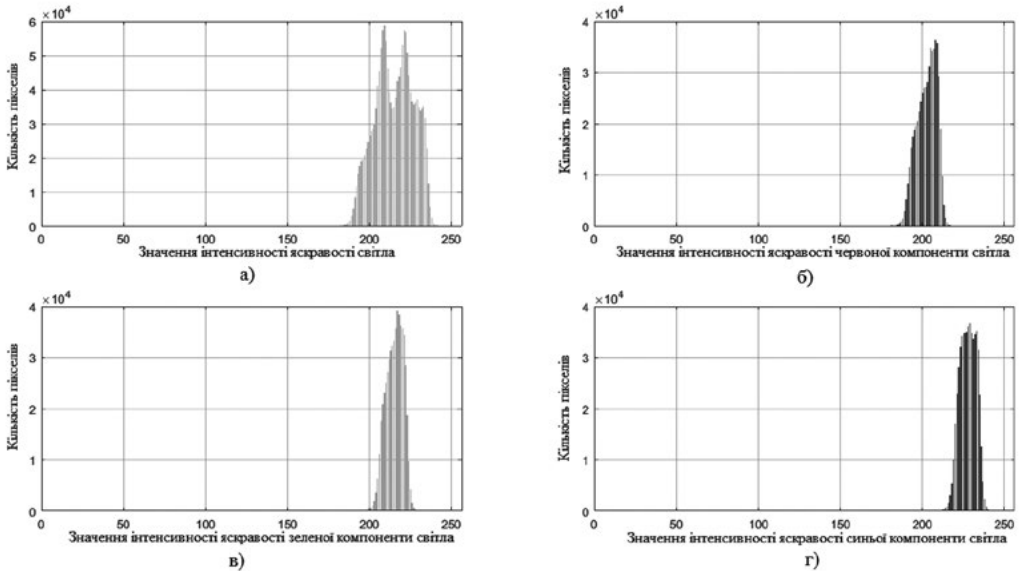


Рис. 8. Гістограми залежності кількості пікселів зображення світла, яке пройшло скрізь скло, від значення інтенсивності світла загалом (а) та його складових: червоної (б); зеленої (в); синьої (г)

Аналіз гістограм дає змогу стверджувати, що в разі проходження падаючого світла крізь прозоре скло послаблюється (табл. 1) як загальна його інтенсивність, так і інтенсивність окремих його кольорових складових (найбільше червоної). Значення інтенсивності змінюється в діапазоні від 0 до 255, що відповідає, як наголошено вище, 8-бітному формату запису кольорових зображень.

Таблиця 1

**Оптичні параметри, отримані в результаті
програмної обробки цифрових зображень**

Інтенсивність світла / найбільш імовірне значення інтенсивності світла	Падаюче світло	Світло, що пройшло крізь скло
Загалом I/I_{\max}	218,36/225	215,13/209
Червоної складової $I_r/I_{r\max}$	207,27/209	202,52/208
Зеленої складової $I_g/I_{g\max}$	218,82/218	215,23/217
Синьої складової $I_b/I_{b\max}$	228,99/232	227,67/229

Похибка розрахунку середнього значення оптичної густини досліджуваного скла в межах цього експерименту становить максимум 1,4 % (табл. 2).

Таблиця 2

Середня оптична густина досліджуваного скла

$(D), \times 10^{-3}$	$(D)_r, \times 10^{-3}$	$(D)_g, \times 10^{-3}$	$(D)_b, \times 10^{-3}$
6,46	10,07	7,19	2,52

Отже, запропонований спосіб дає змогу оптичну густину прозорих матеріалів визначати загальною ознакою під час ідентифікації цілого за його частинами без використання обладнання, що дорого коштує. Докладніше питання, пов'язані з межами застосування запропонованої техніки, а також підвищення точності методу дослідження розглядатимуться в наступних працях авторів.

Висновки. Проведеним дослідженням підтверджено доцільність використання фотоприймачів із ПЗЗ і КМОН для реєстрації ослаблення інтенсивності падаючого світла під час проходження крізь прозорі скляні пластини середньої площі 625 мм² і завтовшки 5 мм та визначення за величиною цього ослаблення оптичної густини скла як загальної ознаки для встановлення цілого за його частинами. Зокрема, отримані параметри оптичних характеристик прозорих скляних пластин застосовуватимуться як допоміжні засоби встановлення загальної ознаки для подальших ідентифікаційних трасологічних досліджень цілого за його частинами, а саме: значення нормованих середніх інтенсивностей світла (падаючого та що пройшло крізь скло), найбільш імовірні значення інтенсивності падаючого та що пройшло крізь скло світла, середнє значення оптичної густини для кольорових складових світла.

Розроблена на основі пакета прикладних програм числового аналізу MATLAB комп'ютерна програма уможливіє автоматичний порівняльний аналіз досліджуваних зразків скла на основі їх цифрових зображень.

Окреслено напрями подальших наукових розвідок.

References

- Garkusha, Y. M., & Babenko, G. M. (2008). *Obrobka ta deshyfruvannya aerokosmichnykh zobrazhen: metod. rekomendatsii*. Dnipropetrovsk: NGU. 72 s.
- Gonsales, R., Vuds, R., & Eddins, S. (2012). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* (3-e izd. ispr. i dop.). M.: Tehnosfera. 1104 s.

- Granovskiy, G. L. (2006). *Osnovyi trasologii* (2-e izd.). M.: Nauka 452 s.
- Jahne, B. (1995). *Digital Image Processing: concepts, algorithms, and scientific applications* (Third Ed.), Springer-Verlag. 383 p.
- Kostrub, A. M., Gryshhenko, O. V., Shhyrba, D. Ye., & Chashnyczka, T. G. (2015). *Metodyka vstanovlenmya cilogo za chastynamy. Ekspertna specialnist 4.2 «Doslidzhennya znaryad, agregativ, instrumentiv i zaly'sheny nymy slidiv, identyfikaciya cilogo za chastynamy»*. Kyiv: DNDEKCz MVS Ukrayiny 37 s.
- Kofanov, A. F., Voloshyn, O. G., & Litvinova, O. V. (2010). *Trasologichni doslidzhennya: kurs lekcij*. Kyiv: Kyiv. nacz. un-t vnutr. sprav. 304 s.
- Leica Geosystems, *Erdas Imagine: prak. ruk.* (2005). TourGuides. 707 s.
- O'Donovan, F., Torres, G., Charbonneau, D., & Mandushev, G. (2008). Rejecting Astrophysical False Positives from the TrES Transiting Planet Survey: The Example of GSC 03885-00829 *The Astrophysical Journal*. 644 (2). P. 1237–1245.
- Пресс, Ф. П. (1991). *Фоточувствительные приборы с зарядовой связью*. М.: Радио и связь. 264 с.
- Romanyuk, M. O. (2012). *Оптика*. Lviv: LNU im. Ivana Franka. 562 s.
- Charbonneau, D., Brown, T., Burrows, A. & Laughlin, G. (2007). When Extrasolar Planets Transit Their Parent Stars. *Protostars and Planets V*, University of Arizona Press. P. 701–716.
- Fishman, R. (2018). Калейдоскоп миров. Как исхут экзопланеты. *Популярная механика* (№ 1, с. 36–37).

Список використаних джерел

- Гаркуша, И. М., & Бабенко, Г. М. (2008). *Обработка та дешифрування аерокосмічних зображень: метод рекомендації*. Дніпропетровськ: НГУ. 72 с.
- Гонсалес, Р., Вудс, Р., & Эддинс, С. (2012). *Цифровая обработка изображений* (3-е изд. испр. и доп.). М.: Техносфера. 1104 с.
- Грановский, Г. Л. (2006). *Основы трасологии* (2-е изд.). М.: Наука. 452 с.
- Jahne, B. (1995). *Digital Image Processing: concepts, algorithms, and scientific applications* (Third Ed.), Springer-Verlag. 383 p.
- Коструб, А. М., Грищенко, О. В., Щирба, Д. Є., & Чашницька, Т. Г. (2015). *Методика встановлення цілого за частинами. Експертна спеціальність 4.2 «Дослідження знарядь, агрегатів, інструментів і залишених ними слідів, ідентифікація цілого за частинами»*. Київ: ДНДЕКЦ МВС України. 37 с.
- Кофанов, А. Ф., Волошин, О. Г., & Літвінова, О. В. (2010). *Трасологічні дослідження: курс лекцій*. Київ: Київ. нац. ун-т внутр. справ. 304 с.
- Leica Geosystems, *Erdas Imagine: практ. рук.* (2005). TourGuides. 707 с.
- O'Donovan, F., Torres, G., Charbonneau, D., & Mandushev, G. (2008). Rejecting Astrophysical False Positives from the TrES Transiting Planet Survey: The Example of GSC 03885-00829, *The Astrophysical Journal* (644 (2), p. 1237–1245).
- Пресс, Ф. П. (1991). *Фоточувствительные приборы с зарядовой связью*. М.: Радио и связь. 264 с.
- Романюк, М. О., Крочук, А. С., & Пашук, І. П. (2012). *Оптика*. Львів: Видавництво Львів. ун-ту ім. Івана Франка. 562 с.
- Charbonneau, D., Brown, T., Burrows, A., & Laughlin, G. (2007). When Extrasolar Planets Transit Their Parent Stars. *Protostars and Planets V*, University of Arizona Press. P. 701–716.
- Фишман, Р. (2018). Калейдоскоп миров. Как исхут экзопланеты. *Популярная механика* (№ 1, с. 36–37).