

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"**

Факультет електроніки

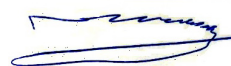
(повна назва інституту/факультету)

Акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

"До захисту допущено"

Завідувач кафедри



С.А. Найда

(ініціали, прізвище)

" 07 " червня 2020 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності

171 Електроніка

(код і назва)

на тему:

**"Дослідження процесу оброблення RAW форматів зображень
на етапі поствиробництва візуального контенту"**

Виконала

студентка IV курсу, групи ДВ-71

(шифр групи)

Цимбал Юлія Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник

старший викладач Гумен Т. Ф.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

Консультант

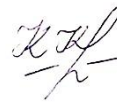
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище,
ініціали)

(підпис)

Рецензент

**доцент кафедри ЕПС КПІ ім. Ігоря
Сікорського, доцент, к.т.н. Клен К.С.**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент



(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



Найда С.А.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

"12" квітня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Цимбал Юлії Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу оброблення RAW форматів зображень на етапі поствиробництва візуального контенту

керівник роботи Гумен Тамара Федосіївна, старший викладач

затверджені наказом по університету від «24» травня 2021 р. №1316-с

2. Строк подання студентом роботи 07 червня 2021р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідження процесу оброблення RAW матеріалів і пошук шляхів його удосконалення на етапі поствиробництва візуального контенту. Робота з зображеннями 7399, 7690, 7728, 8098, 8158, 7399

4. Зміст роботи RAW формати зображень. Специфікації RAW форматів та програмне забезпечення для їх оброблення. Обробка зображень RAW форматів

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням обов'язкових плакатів, презентацій тощо) презентація з наведеними результатами аналізу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 12.04.2021р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Написання першого розділу	15.05.2021	виконано
2	Написання другого розділу	22.05.2021	виконано
3	Написання третього розділу	29.05.2021	виконано
4	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	01.06.2021	виконано
5	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	05.06.2021	виконано

Студент



(підпис)

Цимбал Ю. О.

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

Т.Ф. Гумен

(ініціали, прізвище)

УДК 658.562:778.5

РЕФЕРАТ

Цимбал Ю.О. «Дослідження процесу оброблення RAW форматів зображень на етапі поствиробництва візуального контенту»: дипломна робота бакалавра : 171 Електроніка. - КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2021. - 61 с.

Ключові слова: RAW формати, демозаїка, фільтр Байєра, артефакти, метадані, матриця фотоапарату, сенсор, експозиція, баланс білого, конвертування, обробка, шум, деталізація, кольорова корекція.

Об'єктом дослідження є процес оброблення RAW матеріалів.

Метою роботи є аналіз переваг та недоліків використання RAW форматів при обробці фотографій.

Методом дослідження є теоретичне дослідження особливостей RAW форматів та використання програмного забезпечення для редагування зображень.

У результаті виконання дипломної роботи було проаналізовано принципи роботи RAW форматів, проведено аналіз окремих стандартів, програмного забезпечення для їх оброблення. Досліджено можливості покращення якості RAW зображення.

Галузь застосування: професійне оброблення зображень.

ABSTRACT

Tsymbol Yuliia "Study of the process of processing RAW image formats at the stage of post-production of visual content": Bachelor Thesis: 171 Electronics. - Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 2021. - 61 p.

Keywords: RAW formats, demosaicing, Bayer filter, artifacts, metadata, image sensor, sensor, exposure, white balance, converting, processing, noise, detail, color correction.

This document describes the analysis of processing RAW image formats. Presented the theoretical study of the features of RAW formats and the use of image editing software. Considered advantages and disadvantages of using RAW formats in photo processing. The principles of RAW formats were analyzed, as well as analysis of individual standards and software for their processing. Possibilities of improving the quality of RAW images were described.

Presented the standards and recommendations for using the RAW files in such area as professional image processing.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	10
1 RAW ФОРМАТИ ЗОБРАЖЕНЬ.....	11
1.1 Порівняння процесу створення зображень у камері у стандартних та RAW форматах	11
1.2 Алгоритми демозаїки	13
1.3 Використання метаданих у форматах RAW	18
1.4 Висновки до розділу.....	23
2 СПЕЦИФІКАЦІЇ RAW ФОРМАТІВ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЇХ ОБРОБЛЕННЯ	24
2.1 Специфікації RAW форматів.....	24
2.1.1 Специфікація DNG	25
2.1.2 Формати компаній виробників фотоапаратів	27
2.2 Програмне забезпечення для роботи з RAW файлами.....	29
2.2.1 dcraw	29
2.2.2 RawTherapee.....	30
2.2.3 darktable.....	32
2.3 Висновки до розділу.....	33
3 ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ RAW ФОРМАТІВ	35
3.1 Редагування базових налаштувань	35
3.2 Зменшення шуму та налаштування деталізації	41
3.3 Кольорова корекція та особливості обробки портретів	46
3.4 Висновки до розділу.....	51
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	53
SUMMARY.....	56

SUMMARY	57
---------------	----

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

AHD	– Adaptive Homogeneity-Directed (адаптивний метод, спрямований на однорідність);
AMaZE	– Aliasing Minimization and Zipper Elimination (мінімізація аліасингу та усунення ефекту блискавки);
CIPA	– Camera & Imaging Products Association (Асоціація продуктів фотокамер та зображень);
DNG	– Digital Negative (цифровий негатив);
Exif	– Exchangeable image file format (Формат файлів зображень для обмінювання);
HSV	– Hue, Saturation and Value (відтінок, насиченість та значення);
ISO	– International Organization for Standardization (Міжнародна організація зі стандартизації);
JEITA	– Japan Electronics and Information Technology Industries Association (Японська асоціація індустрії електроніки та інформаційних технологій);
JPEG	– Joint Photographic Experts Group (Об'єднана спілка експертів з фотографії);
LMMSE	– Linear Minimum Mean Square Error (лінійна мінімальна середньоквадратична помилка);
PLUS	– Picture Licensing Universal System (Універсальна система ліцензування зображень);
PNG	– Portable Network Graphics (портативна мережева графіка);
NEF	– Nikon Electronic Format (Електронний формат компанії Nikon);
RAW	– Raw image format (формат «сирих» даних);
RCD	– Ratio Corrected Demosaicing (демосаїка із відкорегованим співвідношенням);

RGB	– Red, Green, Blue (червоний, зелений, синій);
sRGB	– standard Red Green Blue (стандарт RGB);
TIFF/EP	– Tag Image File Format/Electronic Photography (Формат тегів файлів зображень/Електронна фотографія);
VNG	– Variable Number of Gradients (інтерполяція змінної кількості градієнтів);
VRA	– Visual Resource Association (Асоціація візуальних ресурсів);
XMP	– Extensible Metadata Platform (розширювана платформа метаданих).

ВСТУП

Фотографія стала повсякденністю у житті великої кількості людей. Це – спосіб комунікації, збереження пам'яті, в цей же час це може бути інструментом для самовираження, створення предмету мистецтва. Нові технології стають все доступніші не тільки для професіоналів, а і для любителів. Та очікування теж ростуть, хочеться отримати зображення, що захоплює. RAW формати фотографій дають можливість більшого контролю оброблення та, відповідно, якості.

Актуальність роботи полягає потребі підвищення якості фотографій, пошуку технологій для отримання необхідних результатів.

Метою роботи є аналіз переваг та недоліків використання RAW форматів при обробленні фотографій.

Методом дослідження є теоретичне дослідження особливостей RAW форматів та використання програмного забезпечення для редагування зображень.

Об'єктом дослідження є процес оброблення RAW матеріалів.

Новизна роботи полягає у пошуку шляхів використання технології RAW форматів зображень для отримання кращих результатів при обробленні фотографій.

Практична цінність полягає в тому, що результати, отримані в ході виконання досліджень, можуть бути використаними для професійного оброблення зображень.

1 RAW ФОРМАТИ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Порівняння процесу створення зображень у камері у стандартних та RAW форматах

В перекладі з англійської, слово «raw» має значення «сирий», «необроблений». Це відображає суть формату, адже RAW – всього лиш набір даних, параметрів, що ще не оброблені камерою. Їх можна змінювати, налаштовувати. А вже потім перетворювати у файли, призначені для перегляду фотографій.

RAW також порівнюють із поняттям «негативу» у аналогових камерах. Так, формат називають «цифровим негативом». Подібно до плівок, які треба проявити, щоб отримати зображення, для RAW також використовують алгоритми для перетворення даних у фотографію [1].

Для того, щоб зрозуміти різницю, розглянемо, як у цифровій камері зазвичай створюється зображення звичайного формату.

Світло потрапляє на матрицю, яка створена із великої кількості світлочутливих комірок. Відповідно інтенсивності світлового потоку, виробляється електричний сигнал. За допомогою аналогово-цифрового перетворення сигнал записується як двійковий код. Чим більшу кількість фотонів «зловить» комірка, тим світліший буде тон майбутнього пікселя. Якщо комірка «зловить» встановлену виробником максимальну або більшу кількість фотонів, матриця сприйме це як білий колір. Аналогічно при мінімальній та меншій кількості фотонів колір буде відповідати чорному.

Так ми зможемо отримати лише чорно-білу фотографію. Щоб фотографія стала кольоровою, зазвичай використовують фільтр Баєра. Це набір кольорових фільтрів, який накладають зверху відповідних комірок матриці. Тобто для кожної комірки фільтр пропускає тільки один із трьох основних кольорів – червоного, зеленого чи синього. Кольорів лише три, тож для кожної групи із чотирьох

комірок використовують два зелених фільтри, адже око людини найбільш чутливе до цього кольору [4].

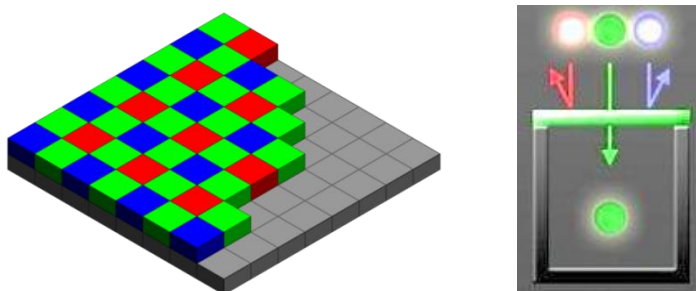


Рисунок 1.1 – Фільтр Баєра на матриці фотоапарату та принцип роботи окремої комірки із зеленим фільтром

Такі групи із чотирьох комірок різних кольорів розглядають як одну кольорову. Через це якість стає гіршою відповідно у чотири рази. Щоб поліпшити якість, використовують певні алгоритми, про які буде зазначено нижче.

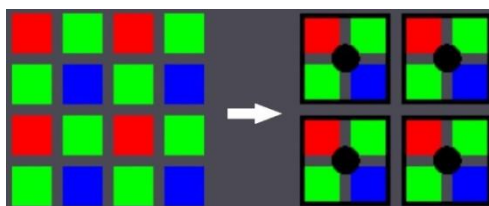


Рисунок 1.2 – Групування пікселів у масиви [3]

Крім одношарових матриць у камерах також використовують трьохшарові, що можуть сприймати та пропускати значення яскравості усіх трьох кольорів одночасно, розрізняючи їх по довжині хвиль. Але це зустрічається скоріше рідко через громіздку конструкцію матриці, її високу вартість [2] .

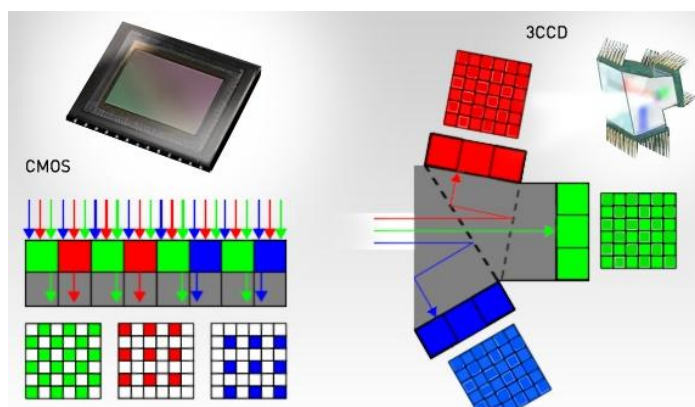


Рисунок 1.3 – Принципи роботи одношарової та трьохшарової матриць

Як було зазначено вище, у одношарових матриць якість зображення буде гіршою у чотири рази. Один із способів покращення якості зображення – демозаїка. При зйомці у стандартних форматах зображень цей процес відбувається без участі фотографа за вбудованими алгоритмами камери. В результаті ми отримуємо готове зображення.

Тоді як перевагою формату RAW є запис даних із сенсорів та можливість змінювати їх параметри. Також можна обирати алгоритми для демозаїки. Однак, свобода вибору залежить від моделі камери, налаштувань, програмного забезпечення тощо, про що буде зазначено нижче [4].

1.2 Алгоритми демозаїки

Якщо зібрати отримані з матриці три однокольорові мозаїки, що складаються із сукупності «зловлених» комірками фотонів, відповідно до фільтру конкретного кольору, отримаємо зображення. Однак, зазвичай для поліпшення якості перед цим виконується процес демозаїки – розрахунку відсутніх значень, тобто значень для комірок, де знаходяться фільтри інших кольорів [5].



Рисунок 1.4 – Приклад зібраного зображення із мозаїк синіх, зелених і червоних фільтрів

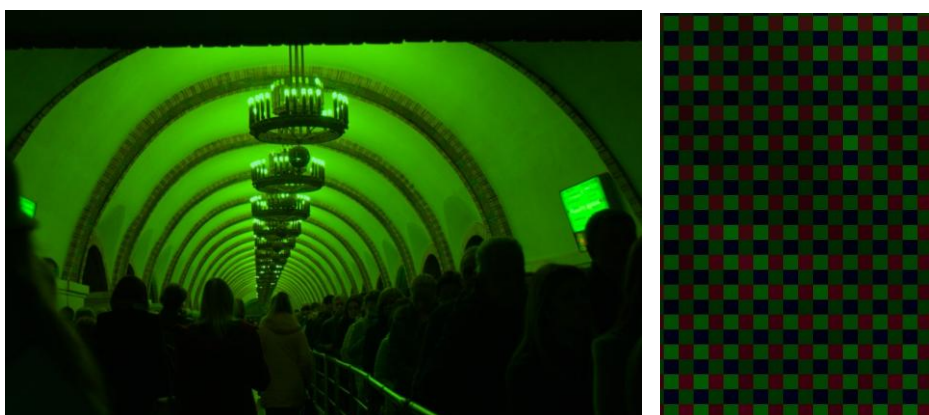


Рисунок 1.5 – Вигляд зображення без виконання демозаїки та масштабована його частина (показана структура сенсора; масштаб 1600%)

На зображенні можуть бути не лише градієнти, які легко інтерполювати, а і більш складні випадки – наприклад, границі об'єктів. Демозаїка виконується на основі сусідніх пікселів, тож при такому процесі можуть виникати артефакти, тобто недосконалості – розмиття границь, поява пікселів випадкового кольору тощо. Тому в сучасних камерах та програмах використовують більш досконалі методи інтерполяції, які враховують вміст зображень. Такі методи називають адаптивними [6].



Рисунок 1.6 – Приклади артефактів

Розглянемо принцип демозаїки на простому прикладі. Відсутнє значення кольору зеленої комірки розраховують як середнє значення чотирьох комірок, що оточують її. Для комірок, інших кольорів, наприклад, червоної, спочатку визначають значення, місце розташування якого збігається з місцем розташування комірки синього компонента. Значення розраховують як середнє чотирьох сусідніх комірок червоного компонента. Аналогічно визначають значення, місце розташування яких збігається з місцем розташування зеленої комірки, враховуючи значення, що розраховані у попередньому кроці. Так само розраховують відсутні значення синіх компонентів [5].

Щоб покращити якість зображення, використовують більшу кількість значень комірок при інтерполяції, залучують комірки інших фільтрів для аналізу, розпізнають однотонні об'єкти тощо. Так, наприклад, опишемо один із методів розпізнання країв предметів.

У цьому методі з певним встановленим пороговим значенням порівнюється різниця між значеннями сусідніх комірок зелених фільтрів, що розташовані по горизонталі та вертикалі на структурі сенсору. Якщо різниця велика та перевищує порогове значення, ймовірно, що у цьому місці присутня границя об'єкту. Наприклад, якщо ця різниця є між значеннями, розташованими горизонтально, край предмету, скоріше всього, повторює вертикальну лінію. Тоді інтерполяція виконується за вертикальними значеннями, щоб границя була чіткою та не виникло артефактів. Якщо ж обидві різниці нижче або вище порогового значення, інтерполяція виконується за значеннями і горизонтально, і вертикально розташованих значень.

	1	2	3	4	5	6
1						
2				72		
3			156	?	225	
4				96		
5						
6						

Рисунок 1.7 – Приблизний приклад інтерполяції з врахуванням границь (невідомий компонент буде розраховуватись за значеннями, розташованими вертикально, так як їх різниця менше порогового значення «25», на відміну від горизонтальних компонентів)

Та у наш час, все більше використовують сучасніші, складніші алгоритми, ніж ті, про які було зазначено вище. Такі методи можуть потребувати більшу кількість часу на обробку. Але при використанні RAW файлів, ці процеси можуть відбуватись у програмному забезпеченні після завантаження матеріалу на комп'ютер (тобто, під час постобробки), та не впливатимуть на процес зйомки. Відповідно, час, витрачений на проведення демозаїки, не буде критично важливим [7].

У різних моделях фотоапаратів, у різному програмному забезпеченні використовуються різні методи демозаїки. Для зображень фото форматів типу JPEG процес може проводитися як адаптивними, так і не адаптивними методами, тоді як у програмному забезпеченні частіше зустрічаються нові розробки. Компанії рідко діляться методами, що використовуються у їх продуктах. Тож зазначимо особливості декількох адаптивних методів демозаїки, які поширені при виборі у програмах для обробки та конвертування RAW файлів:

- AMaZE (Aliasing Minimization and Zipper Elimination – мінімізація аліасингу та усунення ефекту блискавки) – має великий час оброблення, але відповідно і одні із найкращих результатів; найкраще

підійде для зображень із низьким рівнем шуму, так як метод зосереджений на відновленні деталей, а при високому рівні шуму більша ймовірність появи артефактів;

- RCD (Ratio Corrected Demosaicing – демозаїка із відкорегованим співвідношенням) – найкраще підходить для зображень із круглими краями, (наприклад, астрофотографія, де відображають зірки);
- LMMSE (Linear Minimum Mean Square Error – лінійна мінімальна середньоквадратична помилка) – розроблено для зображень із високим рівнем шуму;
- AHD (Adaptive Homogeneity-Directed – адаптивний метод, спрямований на однорідність) – один із стандартних алгоритмів, проте зараз є дещо застарілим та поступається іншим новинкам.
- VNG (Variable Number of Gradients – інтерполяція змінної кількості градієнтів) – розширений варіант зазначеного методу визначення границь об'єктів, використовує порівняння значень у 8 напрямках між комірками, що оточують невідомий компонент [8].

Продемонструємо різницю в результатах деяких методів демозаїки. Як бачимо на рисунку 1.8, найпростіший «метод найближчого сусіда» видає ефект блискавки та кольорові артефакти на краях об'єкту; при адаптивному методі із визначенням границь об'єктів зображення має плавні границі, але артефакти ще присутні, хоч і не так помітно; при більш досконалому методі VNG маємо найкращий результат [9].



Рисунок 1.8 – Порівняння методів демозаїки (зліва направо: оригінал, метод найближчого сусіда, метод із визначенням границь об'єктів, метод VNG)

Як було зазначено у першому підрозділі, у RAW форматах є можливість вибору методу демозаїки. Тобто, в залежності від типу фотографії, її планованого застосування, у спеціальному програмному забезпеченні можна призначити відповідний алгоритм.

Та крім вибору алгоритму, є і інші переваги. Так як RAW – це дані з сенсору камери без подальшої обробки, такі файли записують інформацію із більшою розрядністю, фіксують максимальний динамічний діапазон. Налаштування, зроблені під час зйомки (такі як баланс білого, насиченість, експозиція, яскравість тощо), також можна змінювати майже без втрат. Про це детальніше у наступному підрозділі [13].

1.3 Використання метаданих у форматах RAW

Формати RAW передбачають запис значень з сенсору без подальшої обробки. Зазвичай це дані, отримані після аналого-цифрового перетворення аналогового сигналу, тобто «зловлених» у комірки фотонів. Звичайно, ще на етапі «підрахунку» фотонів можуть виникнути помилки – залишкові значення заряду від попередніх захоплених кадрів, недостатня чутливість, збої у роботі та навіть повна непридатність сенсору. Та при подальшому обчисленні помилки будуть лише накопичуватись – при округленні чисел чи помилках у розрахунках [10].

При записі у стандартні графічні формати, зазвичай використовується стиснення для більш компактного зберігання інформації. Може видалятися інформація, яку не може розпізнати око людини, та яка не буде сильно впливати на сприйняття цілого зображення. Також при внесенні змін до таких файлів, їх перезапису, якість може ще погіршуватись через накопичення помилок (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Погіршення якості зображення формату JPEG при повертанні файлу на 90 градусів (повертання здійснено 0, 100, 200, 500, 900, 2000 разів відповідно)

За допомогою форматів RAW можна працювати із необробленими даними без втрати інформації. Налаштування камери зберігаються як метадані у момент зйомки зображення (про це буде зазначено нижче). Їх змінюють та застосовують вже при експорті до нового файлу. При повторній роботі з RAW файлом, якість не зміниться, так як налаштування до оригінального файлу не застосовуються. Тобто, RAW файл – це контейнер із інформацією про зображення, якою можна маніпулювати за своїм бажанням. Є можливість використовувати таку інформацію багато разів, отримуючи різні результати за допомогою оброблення та експорту у інші формати [11].

Перш за все, у RAW файл записується інформація про яскравість кожної комірки. Щоб фотографія була кольоровою, запам'ятовується порядок розміщення RGB фільтрів. RAW конвертори використовують цю інформацію для проведення процесу демозаїки. Також записується параметри, задані під час зйомки; вже при відкритті файлу у конверторах може проводитись коригування

гами, встановлення балансу білого, зниження шуму тощо, з можливістю подальшого налаштування.

Тобто, стандартний склад RAW файлу є таким:

- заголовок файлу (індикатор впорядкування файлів, ідентифікатор файлу тощо);
- дані з сенсору камери;
- налаштування камери (експозиція, модель камери, дата та місце зйомки, авторські права тощо);
- зображення для попереднього перегляду на дисплеї камери, в файлових системах або програмному забезпеченні, що працюють із зображенням (часто використовують відтворений JPEG файл). [15]

Пояснимо термін, який згадано вище. Метадані – це дані, що доповнюють розуміння інших конкретних даних. Таке поняття використовується у багатьох галузях за різних призначень. Наприклад, при упорядковуванні бібліотек, даними будуть текст книги, її фізична або електронна копія, а метаданими – назва, прізвище автора, рік випуску, видання тощо. Наведемо ще приклад – автор певного матеріалу, що вказує особисті дані (ім'я, фамілію, електронну пошту, номер телефону), щоб захистити свої авторські права на певний об'єкт.

В фотографії також застосовуються метадані. Така інформація зазвичай записується під час створення зображення – локація, час зйомки, модель камери, певні параметри та налаштування. Та, як було зазначено, метадані можливо змінювати [12].

Кожен формат зображення може по-різному зберігати метадані. Зазвичай така інформація записана у файл – так легше не втратити дані. Та іноді для цього створюються окремі файли. Також вони можуть з'являться при редагуванні у програмному забезпеченні. [13] Наприклад, у RawTherapee у таких файлах зберігаються налаштування, зроблені у програмі. Таким чином, оригінальний

файл залишається незмінним, та якщо потрібно повернутись до редагування, варто лише запустити додатково створений файл [14].

Щодо стандартів, для опису метаданих файлів зображень розроблено такі стандарти:

- Exif (Exchangeable image file format), підтримується CIPA (Camera & Imaging Products Association – Асоціація продуктів фотокамер та зображень) та публікується JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association – Японська асоціація індустрії електроніки та інформаційних технологій);
- XMP (Extensible Metadata Platform), стандарт ISO;
- International Press Telecommunications Council Information Interchange Model (Модель обміну інформацією Міжнародної ради з питань телекомунікацій);
- PLUS (Picture Licensing Universal System – Універсальна система ліцензування зображень);
- VRA Core (Visual Resource Association – Асоціація візуальних ресурсів) тощо. [16]

Частіше всього виробники камер використовують Exif. Наведемо приклад списку існуючих тегів стандарту:

- виробник камери;
- модель камери;
- орієнтація зображення;
- дата та час;
- стиснення (наприклад, JPEG, або без втрат);
- роздільна здатність;
- одиниця роздільної здатності;
- час експозиції;
- значення діафрагми;

- версія Exif;
- спалах;
- фокусна відстань;
- колірний простір;
- кількість пікселів по X;
- кількість пікселів по Y тощо [17].

✓ Make	NIKON CORPORATION	✓ Quality	RAW
✓ Model	NIKON D5100	✓ WhiteBalance	INCANDESCENT
✓ DateTime	2019:04:03 18:31:56	✓ FocusMode	AF-A
✓ SubIFD	Подкаталог	✓ FlashSetting	REAR
✓ SubIFD[1]	Подкаталог	✓ FlashType	
✓ CFAPatternDim	2, 2	✓ WhiteBalanceFineTune	0, 0
✓ CFAPattern	RGGB	ColorBalance1	334/256, 567/256, 256/256, 256/256
✓ Exif	Подкаталог	✓ ProgramShift	
✓ ExposureTime	1/80	✓ ExposureDifference	5, 1, 12, 0
✓ FNumber	4.8	✓ FlashExposureComp	
✓ ExposureProgram	Manual	✓ ISOSetting	0, 1000
✓ ISOSpeedRatings	1000	✓ FlashExposureBracketValue	
✓ DateTimeOriginal	2019:04:03 18:31:56	ExposureBracketValue	0/6
✓ DateTimeDigitized	2019:04:03 18:31:56	✓ CropHiSpeed	0, 4992, 3280, 4992, 3280, 0, 0
✓ ExposureBiasValue	+0.00	✓ SerialNumber	7036340
✓ MaxApertureValue	4.8	✓ ColorSpace	1
✓ MeteringMode	Pattern	✓ ISOInfo	Подкаталог
✓ LightSource	Tungsten	✓ LensType	MF = No D = Yes G = Yes VR = Yes
✓ Flash	Flash did not fire	✓ Lens	180/10, 550/10, 35/10, 56/10
✓ FocalLength	32.0	✓ FlashMode	Did Not Fire
✓ MakerNote	Подкаталог		
✓ MakerNoteVersion	0210		
✓ ISOSpeed	1000		

Рисунок 1.10 – Відображення тегів та відповідних їм значень Exif даних конкретного зображення у програмному забезпеченні RawTherapee

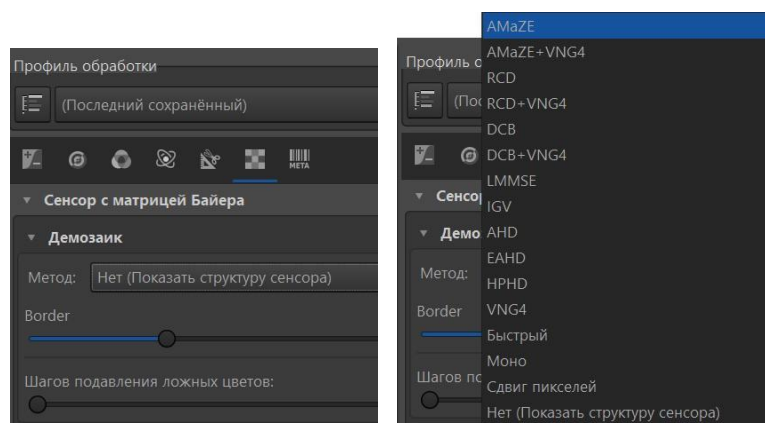


Рисунок 1.11 – Можливість вибору алгоритму демозаїки (програмне забезпечення RawTherapee)

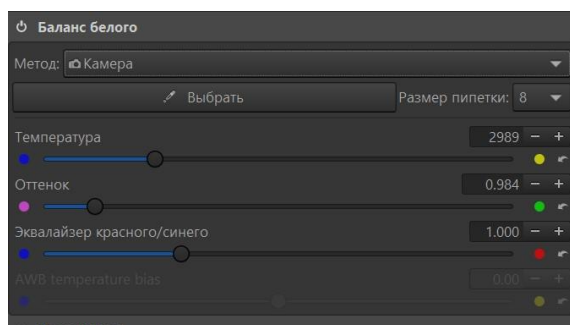


Рисунок 1.12 – Можливість налаштування значень балансу білого записаних під час зйомки (програмне забезпечення RawTherapee)

1.4 Висновки до розділу

Досліджено процес створення зображень у камері, зокрема із стандартними одношаровими матрицями із фільтром Байєра.

Виявлено, що під час запису у RAW формат, більшість процесів не відбувається, і записується лише інформація з сенсорів, тоді як при запису до графічного файлу, отримуємо вже готову фотографію.

Розглянуто принцип процесу демозаїки та особливості деяких із сучасних алгоритмів (AMaZE, RCD, LMMSE, AHD, VNG). При використанні більш сучасних та досконалих методів, краї об'єктів стають плавними, артефакти зникають. За різних потреб для конкретного RAW файлу на процесі постоброблення можна обрати відповідний алгоритм.

Зазначено важливість використання метаданих у форматах RAW, описано деякі із стандартів та тегів, що у них використовуються.

Виявлено, що за їх допомогою можна сортувати файли, захищати авторські права, необмежену кількість разів змінювати налаштування, які було обрано під час зйомки без втрати інформації та зі зберіганням вихідного файлу у початковому вигляді.

2 СПЕЦИФІКАЦІЇ RAW ФОРМАТІВ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЇХ ОБРОБЛЕННЯ

2.1 Специфікації RAW форматів

На даний час немає загальнопоширеного стандарту, єдиного RAW формату. Зазвичай кожен виробник використовує свій, самостійно розроблений стандарт, що іноді змінюються і залежно від моделі камери. До того ж, специфікації таких форматів часто не публікуються або публікуються не в усій повноті. Розголошення може «надихнути» конкурентів на удосконалення власних розробок. Деякі теги метаданих додають на всяк випадок, та їх відкритість спонукає до відповідальності за їх зміст, відповідності реальних значень до маркетингових обіцянь. Щодо програм для оброблення RAW файлів, часто виробник камери розробляє спеціальне програмне забезпечення. Користування всіма продуктами компанії збільшує прибуток та робить користувача «залежним» від них. А при відкритій специфікації, іншим компаніям та підприємцям легше відтворити продукти для «чужих» форматів, тобто фактично заробляти на конкурентах. Використання та порівняння форматів-конкурентів може вплинути на імідж виробників, та, відповідно, привести до збитків.

З іншого боку, потерпають користувачі. Наприклад, професійні фотографи, що мають камери різних виробників. Для них зручніше буде мати незмінний, однаковий процес оброблення фотографій. До того ж, при чесній конкуренції зростає якість продуктів та зменшується ціна. Це може викликати і взаємодію різних виробників, що приведе до розвитку технологій, а отже і до покращення якості продуктів.

Щодо компаній та підприємців, діяльність яких спрямована на створення, оброблення та зберігання візуальних цифрових матеріалів, проблеми такі ж самі. Що й ускладнено масовістю та необхідністю швидкої роботи, в порівнянні із користувачами, що займаються фотографією для власного задоволення, а не

прибутку. Та велика кількість форматів приводить до потреби у великому об'ємі пам'яті для зберігання файлів, високій продуктивності комп'ютерів для використання програм для усіх форматів та плутанини через різницю у використанні. Стандартність процесів обробки значно б полегшила роботу, відповідно і збільшила б прибуток.

Як було зазначено, закритість специфікацій ускладнює роботу розробників програмного забезпечення для оброблення фотографії. Доводиться витратити час на вивчення великої кількості форматів та їх змісту. До того ж, розробки завжди оновлюються, що ще погіршує умови роботи.

Виходить так, що виробникам невигідно створювати універсальний формат або використовувати чужий, що негативно впливає на зручність використання продуктів користувачами. Ще одним негативним наслідком є можливість знищення даних через припинення підтримки формату, неможливості використання відповідних йому застарілих програм обробки та несумісність із новим програмним забезпеченням [18].

2.1.1 Специфікація DNG

Спробою створити універсальний стандарт є DNG (Digital Negative – «цифровий негатив»), випущений у 2014 компанією Adobe Systems. Формат є відкритим та його можна використовувати безкоштовно, але у документації необхідно вказувати, що ліцензією володіє Adobe. Хоча такі великі компанії, як Canon, Nikon, Sony не застосовують розробку, деякі виробники все ж підтримали ініціативу (Leica, Samsung, Pentax). Для менших компаній це може означати полегшення виробництва та зменшення витрат через відсутність необхідності розробки своїх форматів. У крайньому разі, деякі виробники використовують стандарт не як єдиний, а як альтернативу «рідному», що все ж дає більш свободу вибору користувачу.

Крім підтримки виробників камер, розробники програм для оброблення RAW файлів також додають формат для розпізнавання. Звичайно, в першу чергу це продукти компанії Adobe – Photoshop, Lightroom тощо. Та великі корпорації, такі як Apple та Google, незалежні виробники зазвичай також включають підтримку стандарту [19].

Як і більшість RAW форматів, DNG базується та є сумісним із TIFF/EP (Tag Image File Format/Electronic Photography – Формат тегів файлів зображень/Електронна фотографія). Цей стандарт, в свою чергу, заснований на розробках стандартів Adobe TIFF та JEITA Exif. Хоч TIFF/EP не часто використовується виробниками камер, та на його базі створено більшість сучасних RAW форматів.

В DNG є підтримка різних форматів метаданих (Exif, XMP, IPTC), та також зазначено набір обов'язкових тегів метаданих. Це стандарт не виключно для RAW файлів, а і для оброблених зображень («Linear DNG»). До того ж, при використанні камер із трьох шаровими матрицями або їм подібними, підтримується лише Linear DNG. Щодо одношарових матриць, стандарт «розрізняє» такі конфігурації масивів кольірних фільтрів: стандартні фільтри Байєра, чотирикольнірові (RGBE), матриці із неквадратними сенсорами тощо [1].

На жаль, є і недоліки. Навіть при підтримці формату, програмне забезпечення інших компаній може не розпізнавати деякі налаштування, теги формату. При цьому, в специфікаціях DNG описано недостатня кількість тегів метаданих. Тому при конвертуванні з інших форматів, частина даних також може бути втрачена (рис. 2.1). Стандарт більше розрахований на власні продукти Adobe, або ж універсальні розробки, а нестандартні зазвичай ігноруються. Щодо великих компаній-виробників камер, «змусити» використовувати такий формат неможливо. Та у DNG є потенціал стати універсальним стандартом при виправленні зазначених недоліків [18].

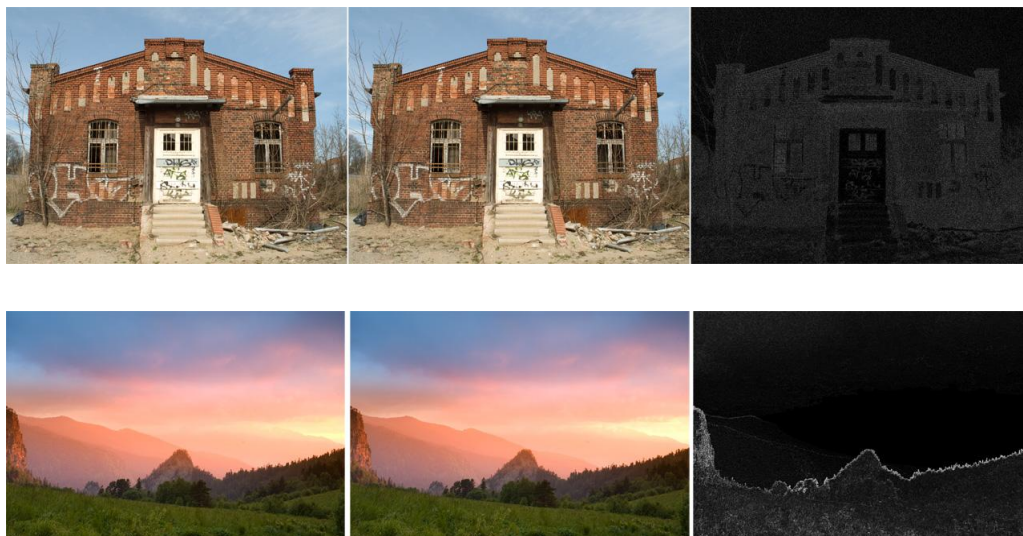


Рисунок 2.1 – Порівняння вихідного RAW файлу, його конвертовану у DNG копію та їх різниця у каналі червоного (зверху – файл камери Canon Powershot G6, знизу – Canon 1D Mark III; бачимо відсутність ідентичності, відповідно втрату даних через певну несумісність)

2.1.2 Формати компаній виробників фотоапаратів

Як було зазначено, стандарти RAW файлів різняться в залежності від виробника камери або навіть її серії, моделі. Зазвичай використовується контейнер TIFF як база, з відмінністю у тому, що там зберігається не готове зображення, а значення із сенсору камери. Щодо різниці між стандартами різних виробників, вона залежить від виду матриці, вибору налаштувань у камері, власного бачення того, які дані потрібно записувати. Через такі незначні з першого погляду різниці, що призводять до певної або повної несумісності, при конвертуванні може втрачатись інформація, а через відсутність підтримки деякі формати не зможуть «читатися» у жодній сторонній програмі, крім «рідної», розробленою виробником конкретної камери [18].

Щодо змісту файлу, зазвичай записуються значення яскравості, виміряні сенсорами, розташування кольірних фільтрів на них, налаштування камери та готове зображення для попереднього перегляду. Хоч RAW позиціонується як формат «сирих» даних, може проводитись стиснення без втрат або з втратами для зменшення об'єму файлу. При цьому, зазвичай не відбувається процеси постобробки. Це, наприклад, коригування балансу білого, кольорова корекція, пониження шумів тощо), і вони можуть різнитися у кожній моделі. Деякі камери все ж їх виконують перед зберіганням у файл, та у більшості випадків записують як значення тегів метаданих. Ще однією перевагою є те, що майже всі RAW формати зберігають 12- або 14-бітові дані, в порівнянні з, наприклад 8-бітним JPEG. До того ж, поки існує оригінальний RAW файл, дані залишається незмінними [20].

Зазначимо RAW формати, що використовують деякі виробники камер:

- Canon: CRW, CR2, CR3;
- Nikon: NEF, NRW;
- Sony: .RW, SRF, SR2;
- Kodak: DCS, DCR, DRF, K25, KDC;
- Fuji: RAF;
- Samsung: SRW;
- Leica: RAW, RWL;
- Panasonic: RAW, RW2;
- Phase One: CAP, IIQ, EIP;
- Olympus: ORF;
- Pentax: PEF, PTX;
- Sigma: X3F;
- Epson: ERF;
- GoPro: GPR. [21]

2.2 Програмне забезпечення для роботи з RAW файлами

Найкращим конвертором для конкретного формату буде спеціально розроблена для нього програма від виробника камери, так як лише виробник точно знає всі особливості та нюанси моделі. Таких програм досить багато, тож розглянемо більш універсальні версії.

Так як специфікації більшості форматів недоступні, незалежні розробники мають спочатку самостійно «розібрати» стандарт, і лише потім створювати алгоритми обробки. За функціями, програмне забезпечення буває різне – для перегляду та редагування метаданих файлу, конвертування у інші формати, або ж комплексні редактори, функції яких включають перераховані та деякі інші. Так як практична частина зосереджена на фото обробці RAW файлів, зупинимось на останній групі програмного забезпечення [18].

2.2.1 dcraw

Однією із найвідоміших програм є dcraw. Програму почав розробляти Дейв Кофін ще у 1997 році. Вона є безкоштовною, підтримує більшість RAW форматів (більше 500 моделей камер) та має відкритий код. Тому велика кількість сучасного програмного забезпечення для RAW базується на dcraw. Це і означає як мету розробник – доступність для кожного, можливість обробляти будь-які RAW файли будь-яких фотоапаратів.

Це досить проста, універсальна програма – написана на мові C, має тільки близько 7000 рядків. Є конвертування у формати TIFF та PPM. Крім експорту у ці формати, можна обрати алгоритм інтерполяції (білінійна, VNG, PPG, AHD), кольоровий простір (sRGB D65, Adobe RGB D65, Wide Gamut RGB D65, Kodak

ProPhoto RGB D65, XYZ); налаштувати баланс білого, яскравість, насиченість тощо.

При цьому, використання буде незвичним для більшості користувачів. Програма представляє собою інструмент командного рядка – фактично, інтерфейсу немає, потрібні команди потрібно вводити у рядок, графічне відображення відсутнє (рис. 2.2). Та деякі розробники удосконалюють програму, створюють легший інтерфейс.

dcraw оновлювався для підтримки нових моделей, та остання версія вийшла у 2018 році. Тож зараз програма є не зовсім актуальною, але на ній «виросло» більшість програмного забезпечення для RAW. До того ж, для багатьох форматів розроблені коди dcraw є єдиною загальнодоступною документацією [22].

```

paul@Chameleon: ~
File Edit View Search Terminal Tabs Help

paul@Chameleon: ~
root@Chameleon: ~

Raw photo decoder "dcraw" v8.99
by Dave Coffin, dcoffin a cybercom o net

Usage: dcraw [OPTION]... [FILE]...

-v      Print verbose messages
-c      Write image data to standard output
-e      Extract embedded thumbnail image
-i      Identify files without decoding them
-i -v   Identify files and show metadata
-z      Change file dates to camera timestamp
-w      Use camera white balance, if possible
-a      Average the whole image for white balance
-A <x y w h> Average a grey box for white balance
-r <r g b> Set custom white balance
-W/-W   Use/don't use an embedded color matrix
-C <r b> Correct chromatic aberration
-P <file> Fix the dead pixels listed in this file
-K <file> Subtract dark frame (16-bit raw PGM)
-k <num> Set the darkness level
-S <num> Set the saturation level
-n <num> Set threshold for wavelet denoising
-H [0-9] Highlight mode (0=clip, 1=unclip, 2=blend, 3+=rebuild)
-t [0-7] Flip image (0=none, 3=180, 5=90CW, 6=90CCW)
-o [0-5] Output colorspace (raw, sRGB, Adobe Wide, ProPhoto, XYZ)
-O <file> Apply output ICC profile from file
  
```

Рисунок 2.2 – Обробка RAW файлу за допомогою коду dcraw (версія 8.99)

2.2.2 RawTherapee

Щодо більш сучасного програмного забезпечення, найпопулярнішою є RawTherapee (від The Experimental Raw Photo Editor - Експериментальний редактор Raw фотографій).

Програма розроблена на основі dcraw, випущена у 2010 році. Як і dcraw, вона є безкоштовною та з відкритим кодом. Розробники дають дозвіл та навіть заохочують покращення їх програмного забезпечення.

RawTherapee зручно використовувати при великій серії фотографій, так як є можливість налаштування, імпорту та експорту групи зображень. Внесені коригування відображаються на зображенні попереднього перегляду, але застосовуються лише до експортованого файлу, та до окремо створеного програмного файлу. Для легкого налаштування присутні лінійні слайдери, гістограми. Можна відміняти дії, так як всі вони записуються в «історію». Є можливість сортувати та фільтрувати файли за назвою, метаданими; помічати їх кольором та оцінювати. Також можна додавати, редагувати та видаляти метадані експортованих файлів. Програма доступна на Microsoft Windows, macOS та Linux.

Є вибір таких алгоритмів демозаїки: AMaZE, IGV, LMMSE, EAHD, HPHD, VNG4, DCB, AHD, моно (чорно-біла фотографія, без використання кольірних фільтрів); підтримка камер із трьох шаровими матрицями. Щодо налаштувань: контроль експозиції, алгоритми реконструкції засвічення та тіней, віньєтування, підвищення різкості, зменшення шуму, відновлення деталей; встановлення балансу білого (автоматичний, точковий, за кольоровою температурою, пресети), коригування насиченості, насиченості із збереженням природних тонів шкіри, відтінків та тону; поворот, обрізання, зміна розміру, коригування спотворень та перспективи тощо. Експортувати можна у формати TIFF, JPEG, PNG [8].

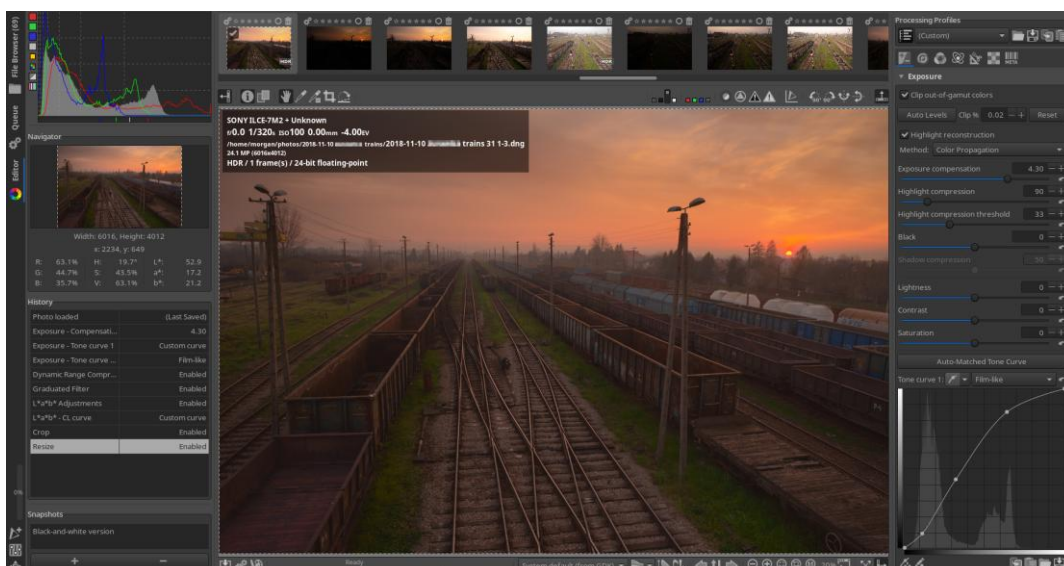


Рисунок 2.3 – Вікно програми RawTherapee (версія 5.5)

2.2.3 darktable

Ще однією безкоштовною програмою з відкритим кодом є darktable, випущена у 2009 році. Щодо інтерфейсу, є два головних режими: «Lighttable» (для імпорту файлів, управління групою зображень, перегляду метаданих, сортування тощо) та «Darkroom» (редагування конкретного файлу). Зазначимо головні функції:

- підтримка колірних просторів sRGB, Adobe RGB, XYZ, лінійний RGB;
- працює на Windows, Linux, Mac OS, BSD, Solaris 11 / GNOME;
- підтримка форматів JPEG, CR2, NEF, HDR, PFM, RAF тощо;
- інтерфейс з функцією масштабування зображення попереднього перегляду;
- фільтрування та сортування зображень за рейтингом, кольоровими мітками, метаданими;
- можливість зйомки з синхронною передачею знімків на комп'ютер;

- експорт у формати JPEG, PNG, TIFF, PPM, PFM, EXR, підтримка веб-альбомів Facebook, зберігання на диск, експорт до електронної пошти;
- автоматизація повторюваних завдань;
- 61 модуль керування зображеннями, у тому числі і ефекти для художньої обробки;
- використання масок тощо. [23]

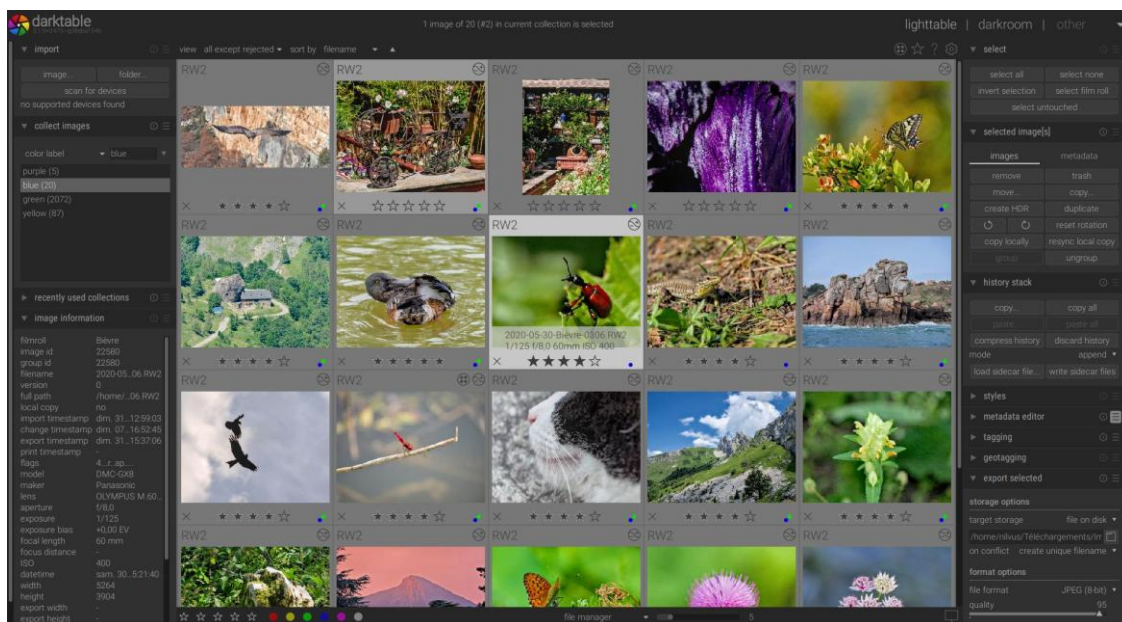


Рисунок 2.4 – Вікно програми darktable

2.3 Висновки до розділу

Досліджено особливості розвитку RAW форматів та програмного забезпечення для їх оброблення.

Визначено, що єдиного стандарту не існує, та специфікації можуть змінюватись залежно від моделі камери. До того ж, документація зазвичай залишається закритою. Причиною для цього є конкуренція між виробниками, бажання отримати більший прибуток.

Розглянуто особливості формату DNG, що є спробою стандартизувати RAW формати.

Визначено, що через відсутність єдиного формату, питання універсального програмного забезпечення є також проблемним. Зазвичай, кожен виробник розробляє відповідну програму для конкретного формату. Та є і незалежні розробники (розглянуто програми dcraw, RawTherapee, darktable), що включають у свої програми підтримку великої кількості різних стандартів.

3 ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ RAW ФОРМАТІВ

3.1 Редагування базових налаштувань

Для демонстрації процесу оброблення RAW файлу використаємо зроблені на камеру Nikon D5100 фотографії та програмне забезпечення RawTherapee (рис. 3.1).

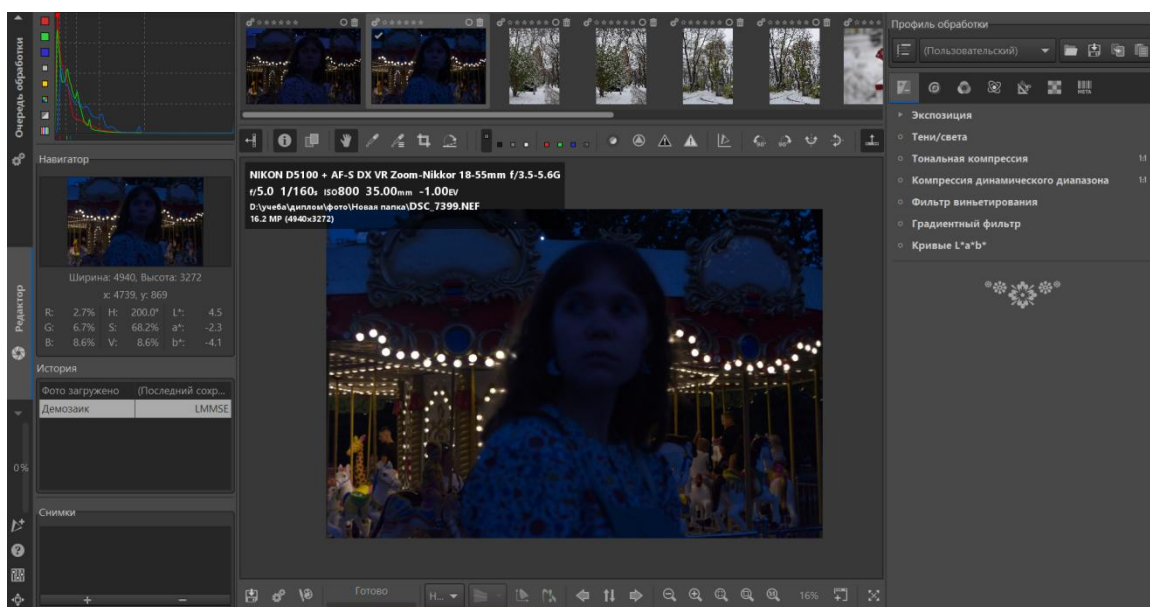


Рисунок 3.1 – Відкрите у програмному забезпеченні RawTherapee зображення

При створенні зображення, крім проведення процесу демозаїки, в залежності від моделі камери, можуть виконуватись певні операції – зазвичай, це встановлення балансу білого, усунення шуму, корекція недоліків оптики (віньєтування, дисторсія, хроматична аберація) тощо. Так як оброблюється RAW файл, є можливість керувати великою кількістю процесів [24].

Спочатку оберемо алгоритм, що найкраще підходить для зображення. Для цього у вкладці «RAW» панелі обробки (квадратна іконка із мозаїкою) відкриємо вкладку «Демозаїк». Так як фотографія зроблена вночі із високим значенням ISO (800), є можливість появи шумів. У першому розділі було зазначено, що для

зображень із високим рівнем шумів підходить алгоритм LMMSE. Порівняємо результат застосування відповідного методу із застосуванням AMaZE, що стоїть за замовчуванням у програмі (рис. 3.2). Бачимо, що кольорових шумів дійсно менше при застосуванні алгоритму LMMSE. Також програма пропонує використати метод IGV, та при ньому бачимо вкраплення темних пікселів. Отже, залишимо алгоритм LMMSE.



Рисунок 3.2 – Порівняння алгоритмів демозаїки (зверху вниз: AMaZE, LMMSE, IGV; масштаб фрагменту 500%)

У вкладці «Передобробка» є можливість зменшити кількість несправних пікселів («гарячі» та «биті» пікселі). При застосуванні цих параметрів не бачимо покращення якості (рис. 3.3), тож використовувати їх не будемо – скоріше всього, сенсори камери працюють достатньо справно, а застосування ефекту лише додає артефакти.

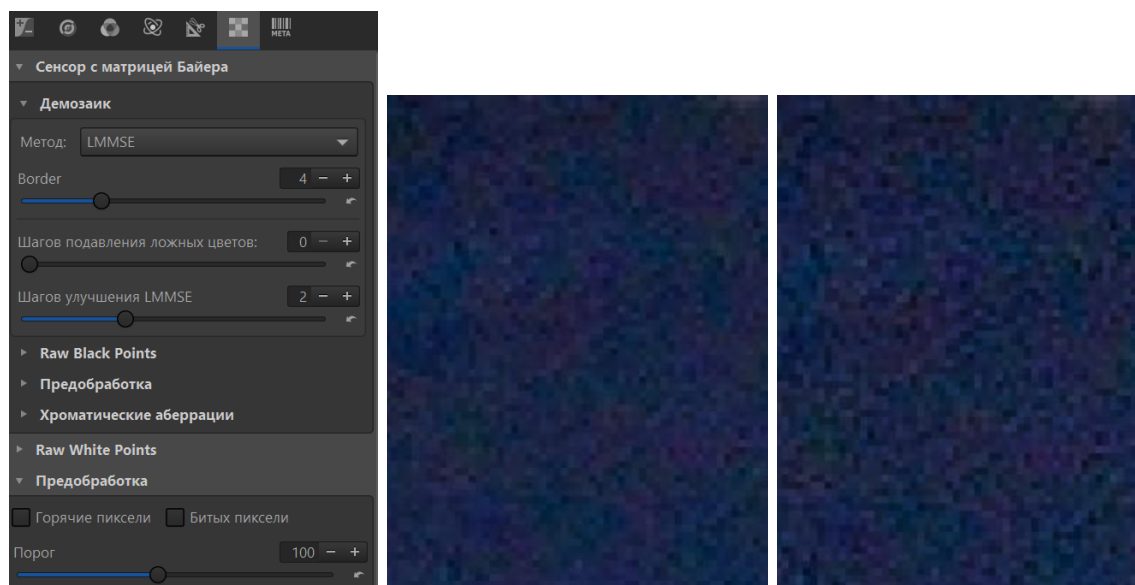


Рисунок 3.3 – Налаштування значень пікселів та порівняння фрагментів без (зліва) та із (справа) зменшення кількості несправних пікселів (масштаб фрагменту 700%)

На зображенні також бачимо невелику кольорову облямівку на контурах ламп. Виправимо це за допомогою застосування ефекту прибирання хроматичної аберації. У програмі є повзунки для коригування окремих кольорів, але оберемо автоматичний режим (рис. 3.4) – при ньому аналізуються окремі блоки зображення, та обираються найкращі налаштування для кожного фрагменту, а не для всієї фотографії. Таким чином, редагування відбувається лише у місцях, що його потребують.

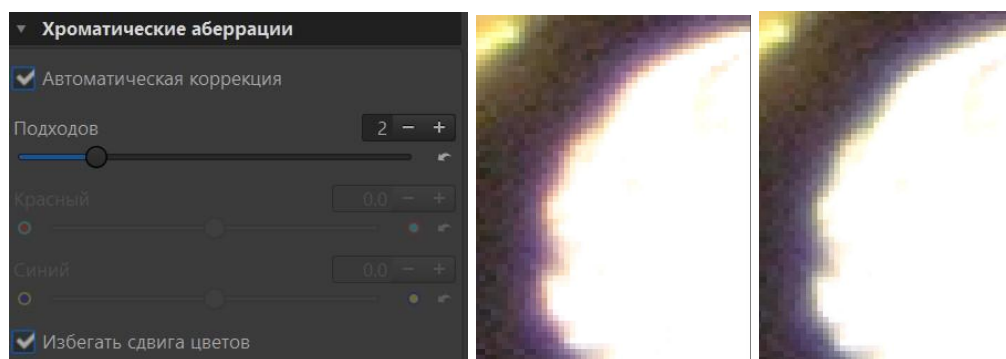


Рисунок 3.4 – Налаштування ефекту прибирання хроматичної аберації та порівняння фрагментів без (зліва) та із (справа) його застосуванням (масштаб фрагменту 800%)

Щодо корекції інших недоліків оптики, використаємо налаштування на вкладці «Перетворення» – «Геометрія» – «Профіль корекції об’єктиву». Так як файл має необхідні метадані, у програму не потрібно вводити модель камери та об’єктив – ця інформація вже автоматично відображена (рис. 3.5, перше зображення). Є функція автоматичного корегування відповідно до даних об’єктиву (дисторсія та вінетування). Хоч корекція незначна, бачимо, що при застосуванні ефекту, краї зображення стають більш світлими та опуклими (рис.3.5, нижні зображення). Для художніх ефектів та при недостатній корекції можна також скористатися ручним редактором (рис. 3.5, зображення зверху справа).

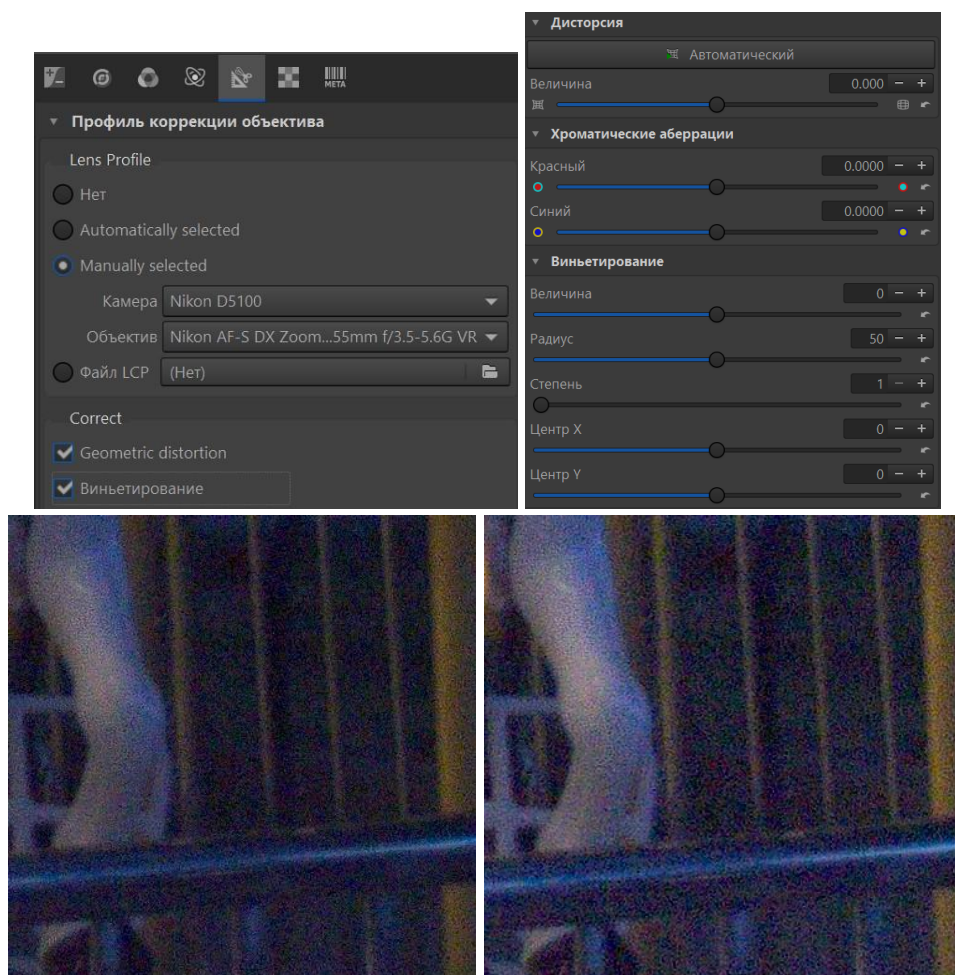


Рисунок 3.5 – Налаштування корекції недоліків оптики та порівняння фрагментів без (зліва) та із (справа) застосуванням корекції (масштаб фрагменту 100%)

Так як фотографія досить темна, спочатку проведемо корекцію експозиції. Для цього використаємо налаштування на вкладці «Експозиція». Базові параметри можна регулювати за допомогою відповідних слайдерів та кривих на графіку. Також є функції автоматичного редагування. При натисненні на таку кнопку, крім значення експозиції, можуть змінитись одразу декілька параметрів: яскравість, контраст, насиченість (рис. 3.6, перше зображення). Застосуємо такі ж налаштування до JPEG файлу. Порівняємо із результатом у RAW. Бачимо, що, скоріше всього, до цього зображення до запису у JPEG файлу була використана корекція – наприклад, виправлення балансу білого, яскравості, контрасту. Можливо, також впливає обмеженість рівнів яскравості та кольорів JPEG зображення. (рис. 3.6, зображення знизу).

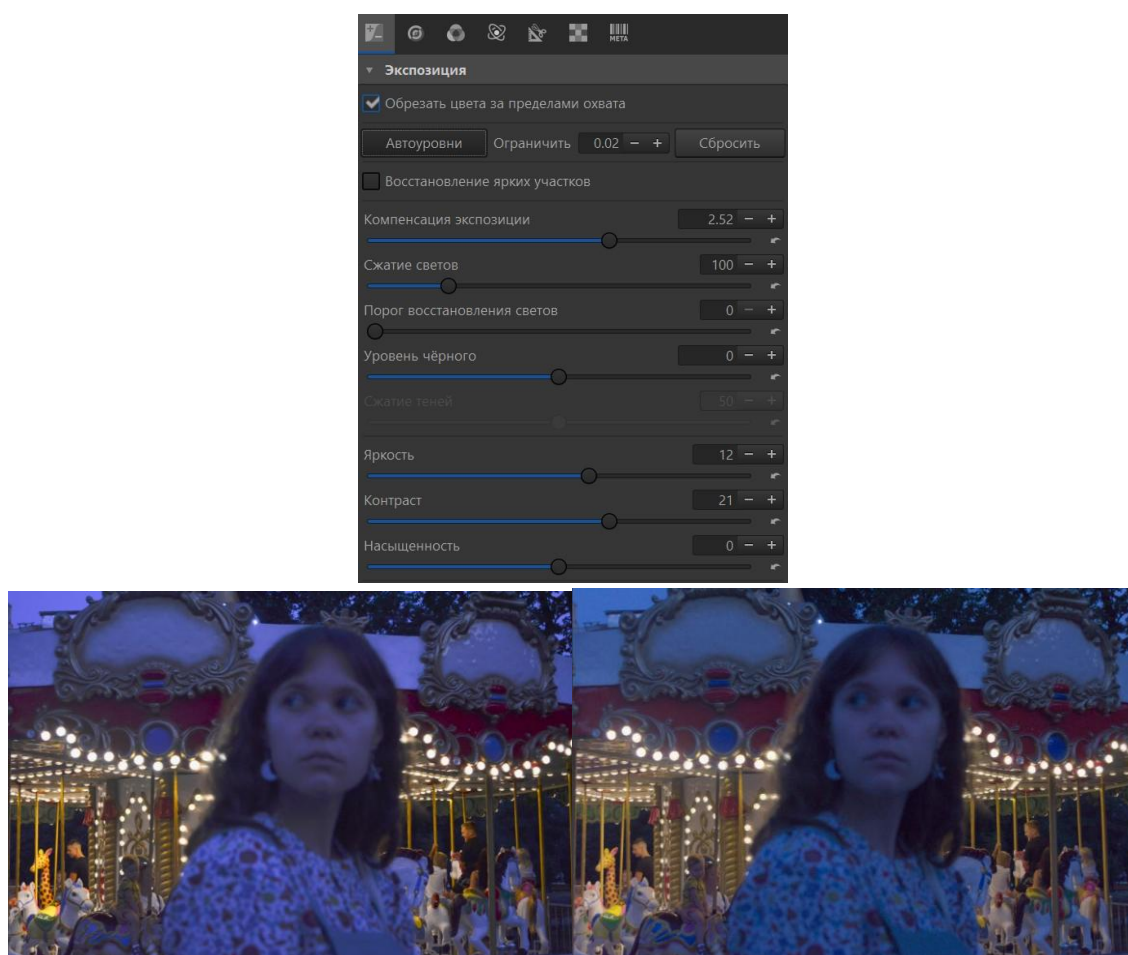


Рисунок 3.6 – Налаштування корекції експозиції (зверху) та її застосування до JPEG (зліва знизу) та RAW (справа знизу) файлів

Виправимо баланс білого. На вкладці «Колір» – «Баланс білого» бачимо обраний як метод значення «Камера» – це параметри, отримані під час зйомки фотографії (рис. 3.7, перше зображення). Використаємо кнопку «Вибрати» та натиснемо на частині фотографії, яка має білий колір. При цьому відбувається автоматичне налаштування параметрів так, щоб і білий колір, і інші виглядали такими, якими вони є (рис. 3.7, друге та третє зображення). Також із методів можна обрати «автоматичний», методи, що залежать від природнього освітлення («тінь», «сонячно», «хмарно») та штучного, в тому числі при спалаху різних виробників камер, при використанні конкретних ламп як додаткового освітлення тощо. Та найкраще перевіряти результат не тільки візуально, а і за допомогою гістограм – слідкувати за тим, щоб графіки кольорів знаходились у одному діапазоні по ширині (рис. 3.8) [8].

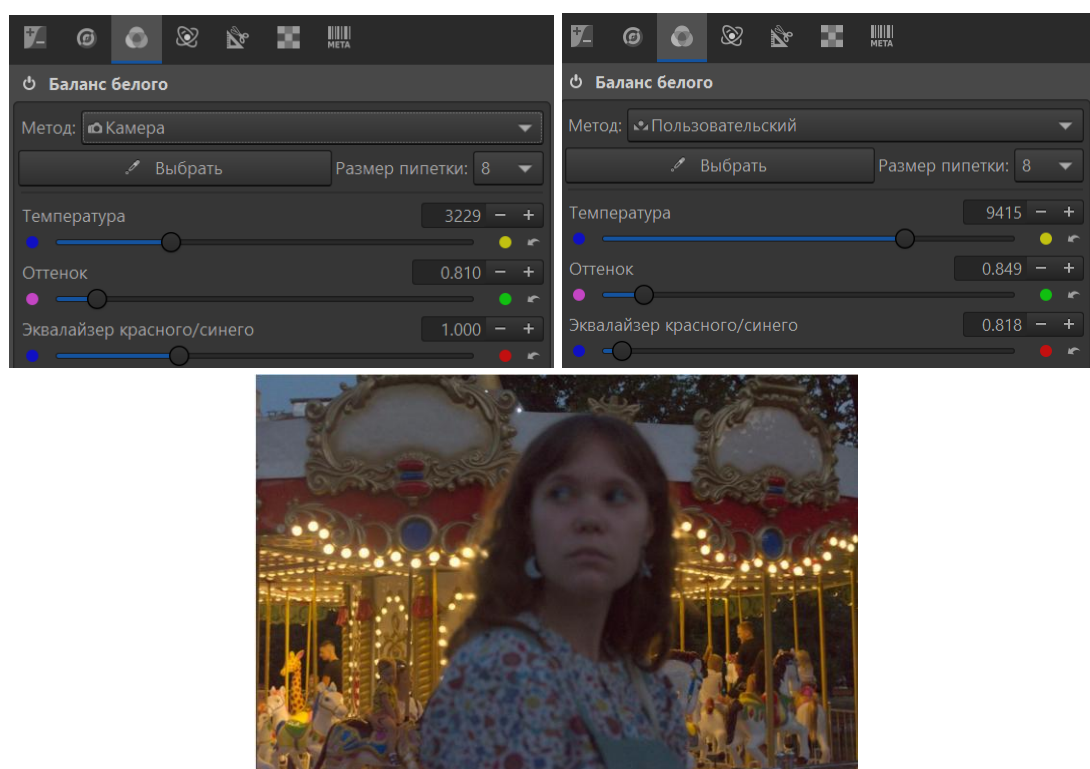


Рисунок 3.7 – Значення балансу білого з камери, його зміна за допомогою інструменту «піпетка» та результат



Рисунок 3.8 – Гістограми зображення без (зліва) та із (справа) налаштуванням балансу білого за допомогою інструменту «піпетка». Бачимо, що графіки після налаштування стали ближче одне до одного, особливо синього кольору, якого на оригінальному знімку забагато

3.2 Зменшення шуму та налаштування деталізації

Є деякі переваги у зменшенні шуму та інших недоліків при обробці RAW зображень. Про «гарячі» та «биті» пікселі вже було зазначено, та крім цього є велика кількість причин появи шумів, отже і методів їх зменшення. Зазвичай використовують різні способи аналізу та фільтрування зображення, але це може впливати і негативно на якість фотографії. Та якщо є шуми, які можуть повторюватись у різних знімках, можливо їх виявити та відняти від інформації пікселів зображення, що оброблюється, без впливу на інші пікселі.

RawTherapee є інструменти, що зменшують кількість шумів завдяки порівнянню із тестовими зображеннями та подальшого віднімання виявлених недоліків. Так, у вкладці «Dark Frame» можна завантажити потрібні зразки. Для їх створення краще використовувати такі ж налаштування, як і для оброблювального зображення. Наприклад, за допомогою Dark Frame редагують шуми, що виникають через перегрівання комірок, і при різному значенні ISO або витримці комірки можуть по-різному нагріватись. [25]

Для Dark-Frame потрібно зняти чорний кадр та завантажити у відповідний рядок (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Налаштування вкладки «Dark Frame»; приклади перегрітих пікселів на зразку чорного кадру; фрагменти без (зліва) та із (справа) застосуванням інструменту «Dark Frame». Масштаб 1600%

Як і у випадку із несправними пікселями, дане редагування не сильно впливає на якість оброблювального зображення. Отже, треба спробувати інші методи виправлення шумів.

Для видалення шумів кольорової складової, використаємо інструменти на вкладці «Зменшення шумів». Автоматичні налаштування дають непоганий результат (рис. 3.10). Та деякі параметри можна змінювати – наприклад, видаляти шуми конкретних кольорів (рис. 3.11).

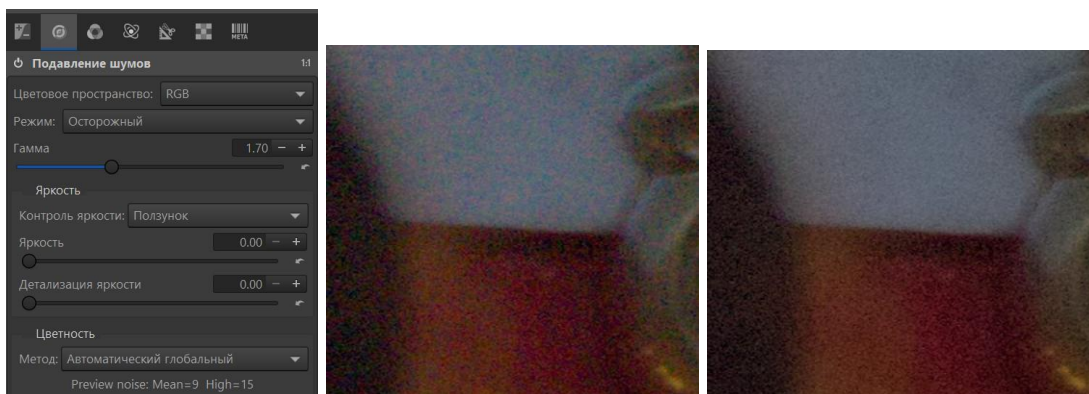


Рисунок 3.10 – Налаштування вкладки «Зменшення шумів», порівняння фрагментів без (у центрі) та із (справа) застосуванням автоматичного зменшення шумів; масштаб 200%

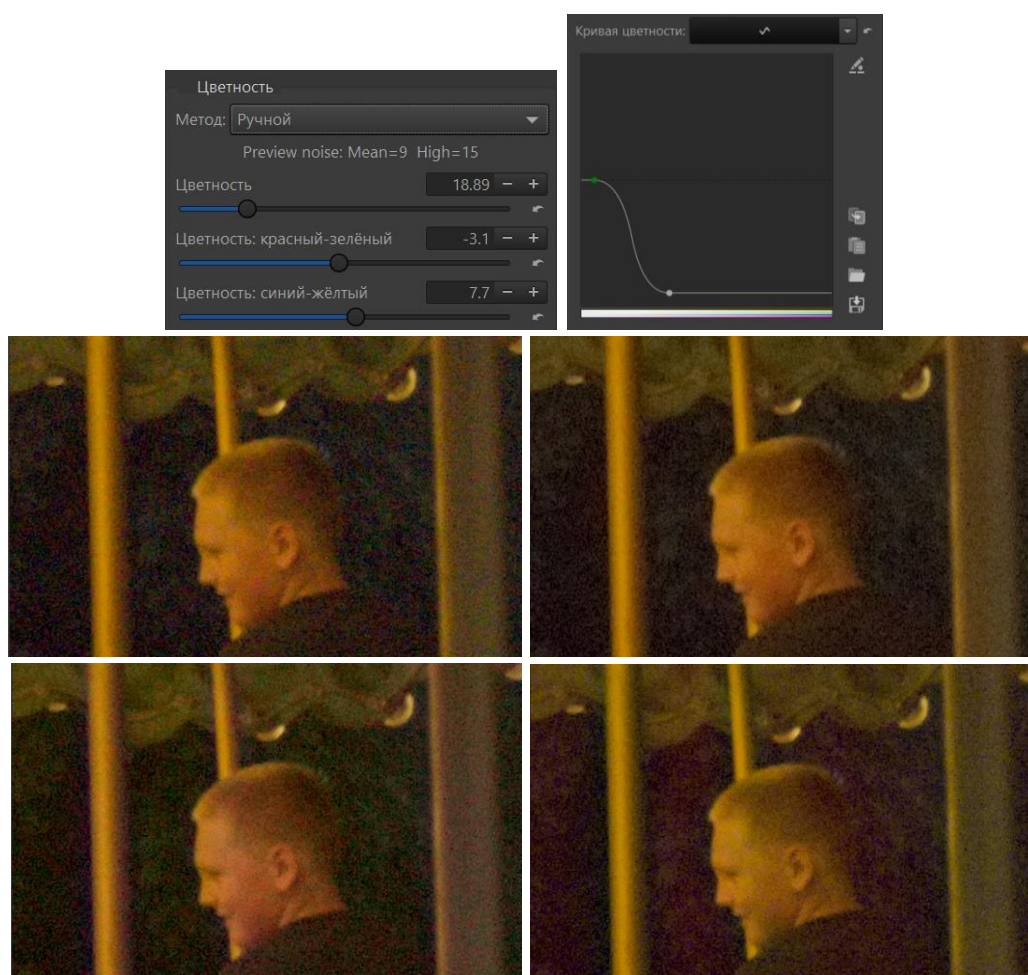


Рисунок 3.11 – Налаштування вкладки «Зменшення шумів»; зліва направо, зверху вниз: оригінальний фрагмент, фрагмент із автоматичним налаштуванням видалення шумів, фрагмент із видаленням синьо-жовтих шумів, фрагмент із видаленням червоно-зелених шумів (масштаб 200%)

Також застосуємо інструменти вкладки «Зменшення імпульсного шуму». Їх використовують, щоб позбутись раптових білих та чорних пікселів. Регулювання зменшення шумів здійснюється за допомогою слайдера у відповідній вкладці (рис. 3.12). Та при збільшенні значення можливі втрати у чіткості. Тому редагування залежить від бачення фотографа.

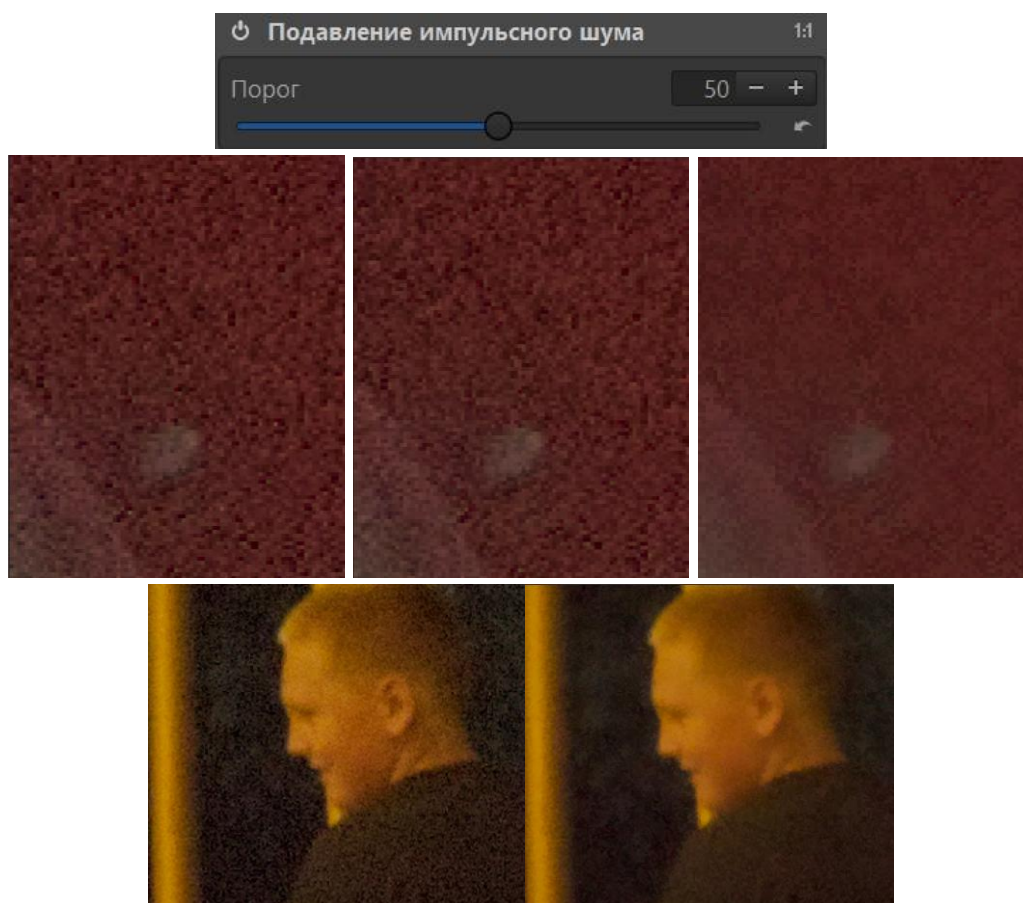


Рисунок 3.12 – Налаштування вкладки «Зменшення імпульсного шуму»; зліва направо, зверху вниз: фрагмент із видаленням імпульсних шумів (без застосування, значення «50», значення «100»; масштаб 800%), фрагмент із видаленням імпульсних шумів (значення «50», значення «100». Масштаб 200%)

Для фотографій із меншим рівнем шуму можна застосовувати інструменти, що підвищують різкість зображення. На вкладці «Деталізація» це «Різкість», «Локальний контраст» (збільшення контрасту на границях об'єктів), «Краї» (додавання різкості на границі контрастних ділянок), «Мікrokонтраст» (найкраще підходить для макрозйомки, посилює текстуру). Їх застосування із автоматичним

налаштування можна побачити на рис. 3.13 та 3.14. Порівнюючи результати із JPEG зображенням, бачимо більшу якість та чіткість (рис. 3.14). [8]

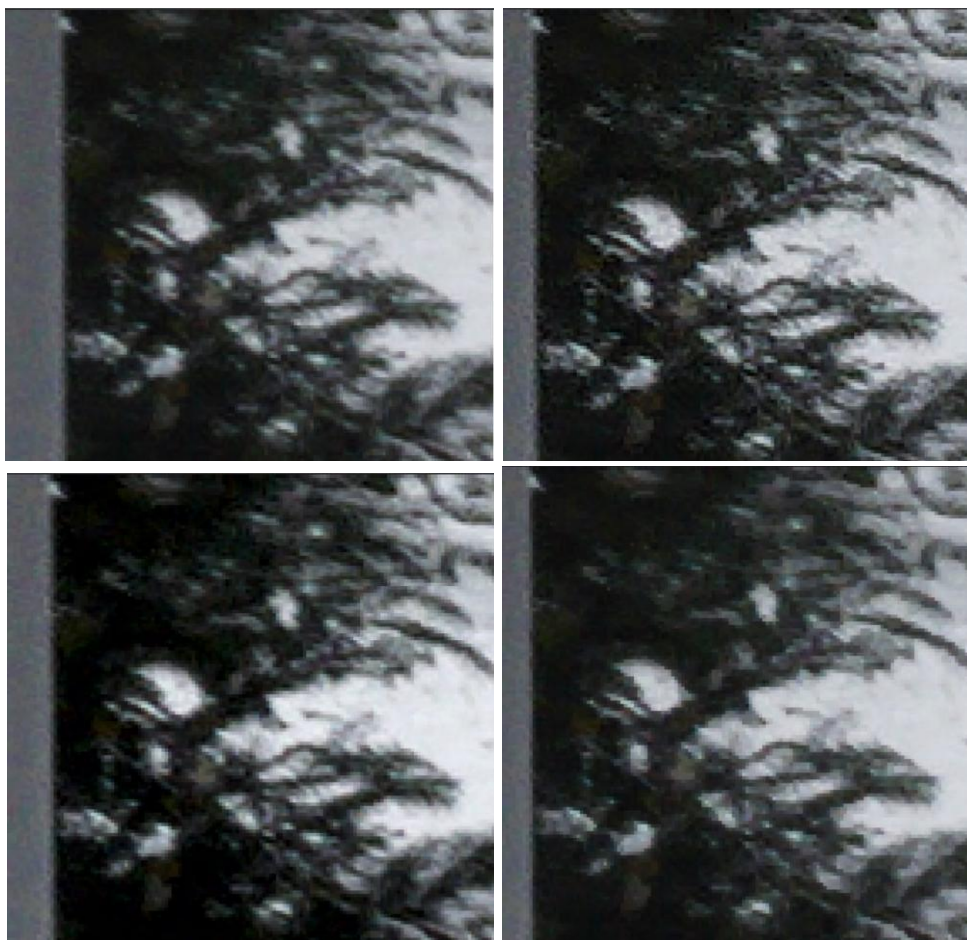
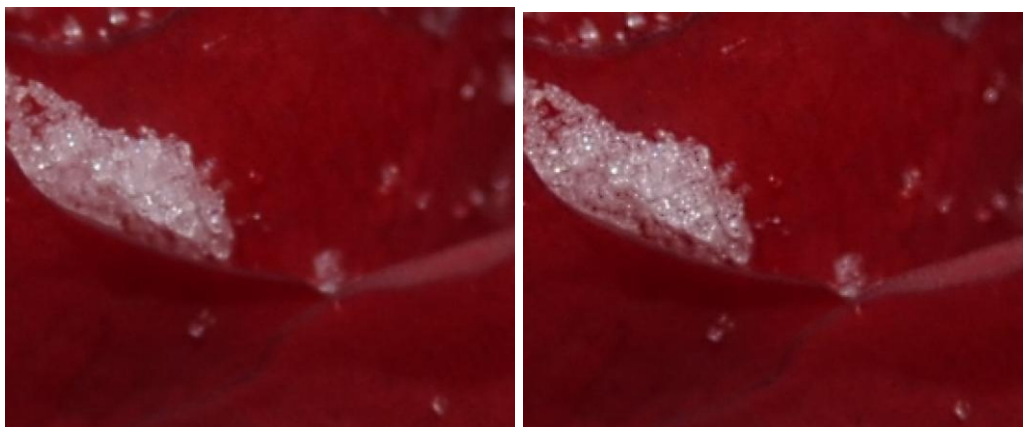


Рисунок 3.13 – Зліва направо, зверху вниз: оригінальний фрагмент, застосування інструментів «Різкість», «Локальний контраст», «Краї». Масштаб 300%



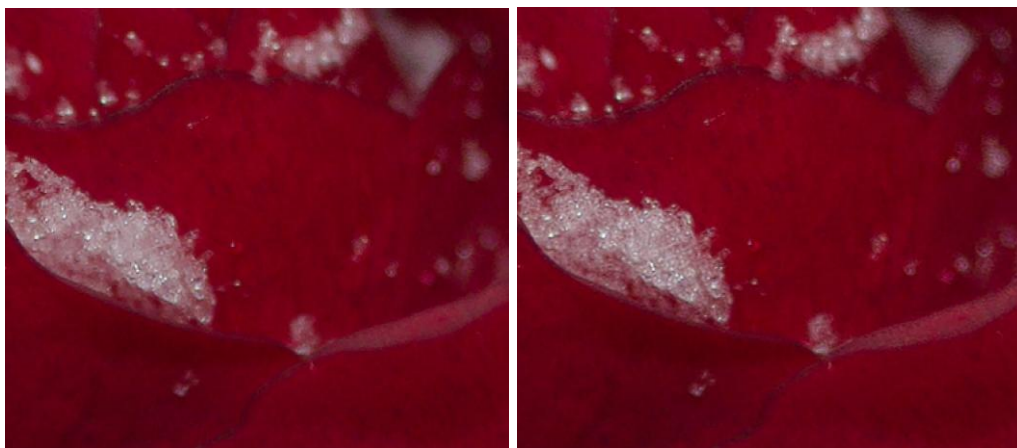


Рисунок 3.14 – Порівняння впливу ефекту «Мікроконтраст» JPEG (зверху) та RAW (знизу) зображення; масштаб 200%

3.3 Кольорова корекція та особливості обробки портретів

Для тестування можливостей кольорової корекції оберемо яскравішу фотографію з меншим рівнем шуму. Для попереднього зображення рівень експозиції було підвищено, так як знімок був темним. У недостатньо експонованих кадрах при підвищенні яскравості можуть виникнути шуми, що було доведено вище. Та якщо експозиція зависока, є ризик втратити інформацію на світлих ділянках. Тоді при намаганні повернути колір у засвічені ділянки буде виводитись сірий колір. Використаємо інструменти на вкладках «Експозиція» та «Тіні/світлі ділянки» – знизимо рівень експозиції на 0.5; для параметру «Світлі ділянки» визначимо значення «100». При зрівнянні результатів (рис. 3.15) бачимо, що для RAW файлу легше відтворити засвічені ділянки. Напевно, для JPEG можна налаштувати подібний результат, та чим менше використовується редагування, тим краща якість, до того ж, для формату із втратами. [26]

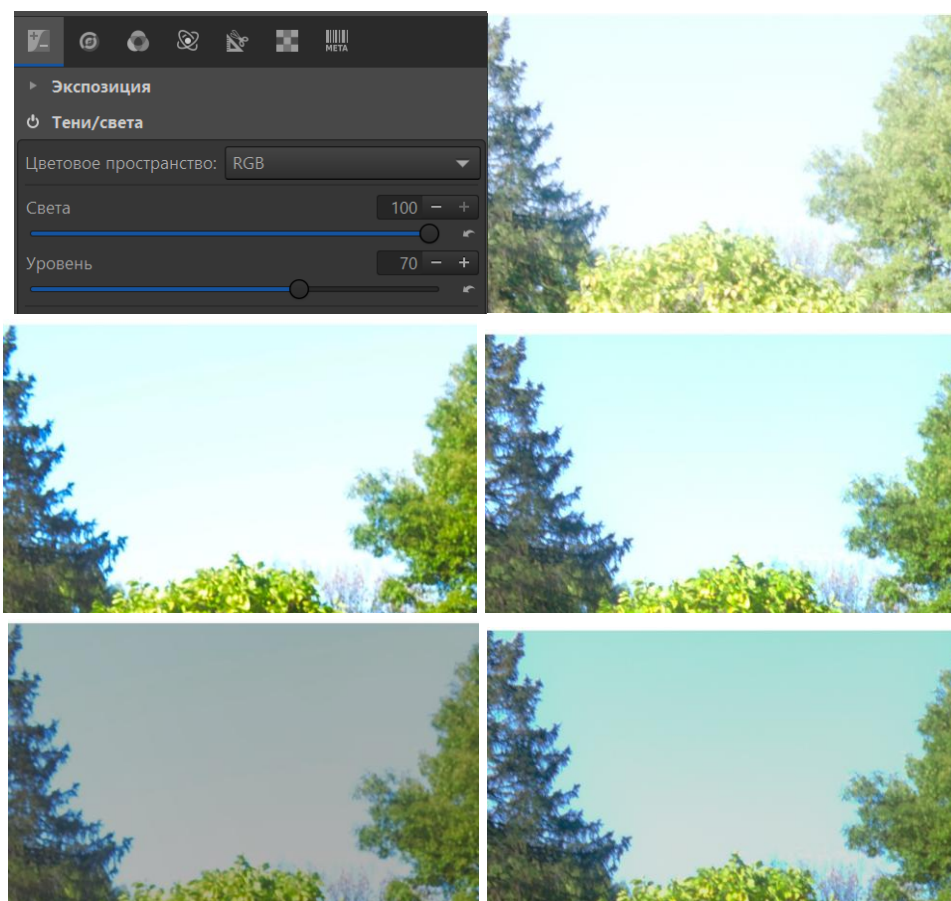


Рисунок 3.15 – Зліва направо, зверху вниз: налаштування параметру «Світлі ділянки»; оригінальний фрагмент; результат застосування інструменту «Світлі ділянки» (JPEG, RAW); корекція експозиції на -0.5 (JPEG, RAW). Масштаб 200%

Щодо більш креативних рішень, використаємо інструменти на вкладці «Еквалайзер HSV» (HSV, Hue, Saturation and Value – відтінок, насиченість та значення). Його застосовують для вибіркової зміни кольорів, Наприклад, змінимо колір троянди з червоного на синій. Для цього налаштуємо криві відтінку (рис. 3.16). Через більшу деталізацію у RAW зображенні можемо спостерігати помилки, тоді як у JPEG вони згладжуються та менш помітні. Це можна виправити цим же інструментом, та варто пам'ятати, що зміни до ділянки певного кольору також внесуть зміни до інших ділянок, що мають такий же колір (рис. 3.17).

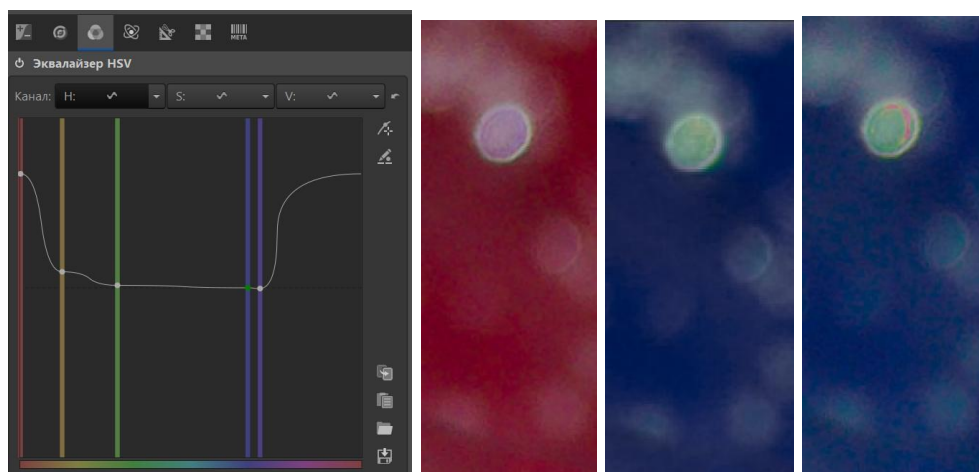


Рисунок 3.16 – Зліва направо: налаштування інструменту «Еквалайзер HSV»; оригінальний фрагмент; результат застосування інструменту «Еквалайзер HSV» (JPEG, RAW). Масштаб 200%

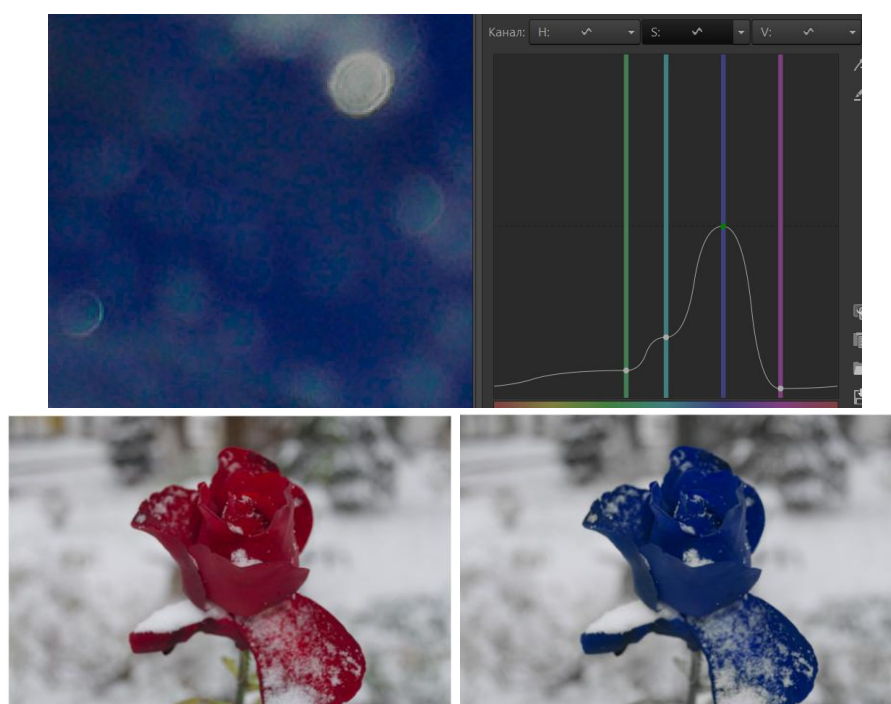


Рисунок 3.17 – Додаткове налаштування інструменту «Еквалайзер HSV»: бачимо втрату насиченості не тільки на відблисках, а і на зелених листках та стеблі (масштаб 200%)

Завдяки цьому інструменту, звичайно, можна корегувати і відтінки шкіри людини. Та є і інші інструменти, призначені спеціально для портретів.

По-перше, у різних вкладках як один із параметрів запропоновано «Зберігання відтінків шкіри». Протестуємо цю функцію для інструменту «Барвистість» (рис. 3.18). Бачимо, що корекція також впливає і на інші об'єкти червоних, жовтих кольорів. Результати майже ідентичні, та дещо кращі для RAW через високу якість зображення.

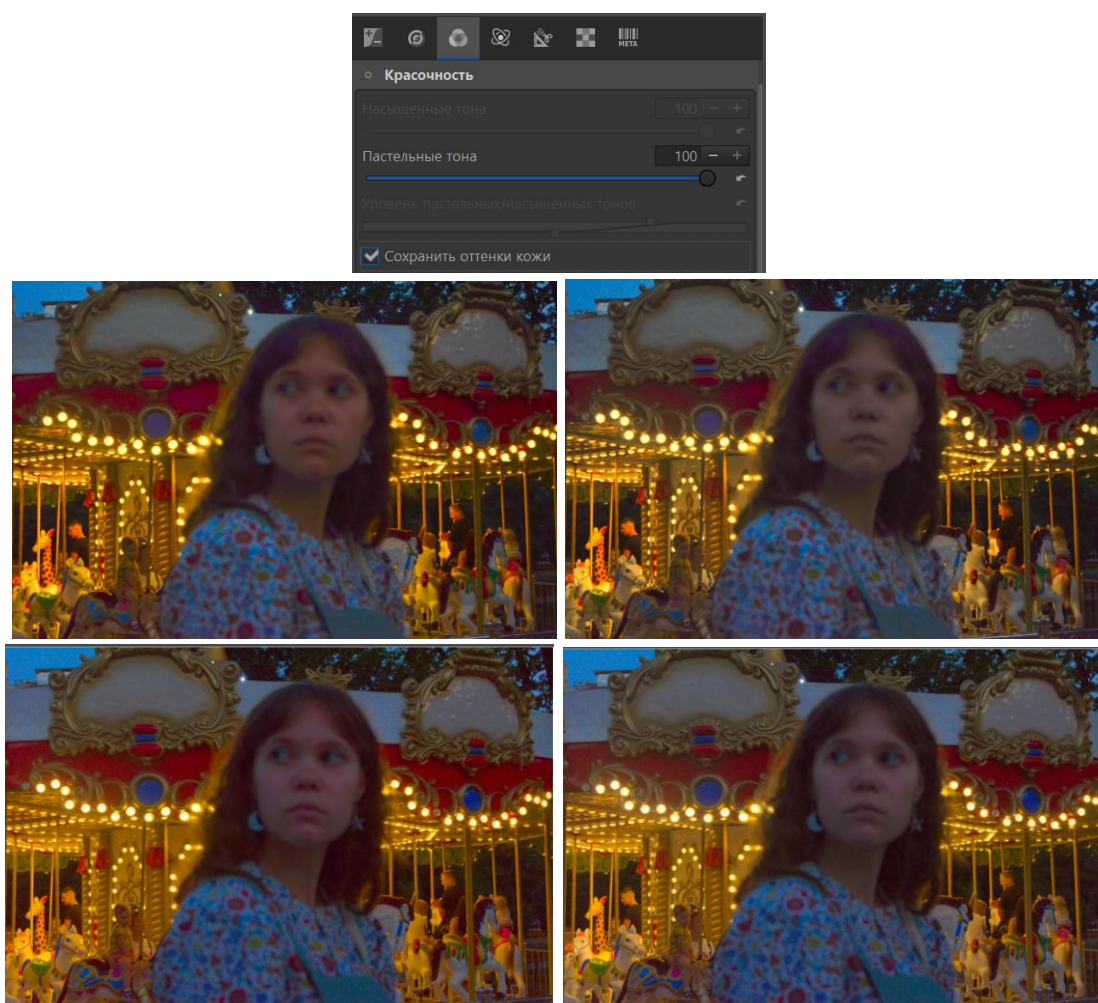


Рисунок 3.18 – Зліва направо, зверху вниз: налаштування параметру «Барвистість»; результат застосування інструменту «Барвистість» для JPEG файлу (без та із застосуванням параметру «Зберігання відтінків шкіри»), для RAW файлу (без та із застосуванням параметру «Зберігання відтінків шкіри»)

У цій же вкладці є інструмент «Відтінки шкіри» із можливістю регулювання за допомогою кривих (рис. 3.19). Спробуємо змінити колір шкіри на більш червоний. Як і попередній параметр, він впливає на будь-які ділянки, близькі за

кольором до кольору шкіри. [8] У порівнянні результату із JPEG значної різниці не бачимо.



Рисунок 3.19 – Зліва направо, зверху вниз: налаштування параметру «Відтінки шкіри»; оригінальний фрагмент; результат застосування інструменту «Відтінки шкіри» для JPEG та RAW файлів

3.4 Висновки до розділу

Досліджено можливості оброблення RAW файлів за допомогою програмного забезпечення RawTherapee. Здійснено порівняння результатів оброблення між форматами зображень JPEG та NEF (формат компанії Nikon, відповідно фотографій, зроблених на камеру Nikon D5100).

Протестовано такі функції: вибір методу демозаїки, встановлення балансу білого, усунення шуму («Dark Frame», «Зменшення шумів», «Зменшення імпульсного шуму»); корекція недоліків оптики (віньєтування, дисторсія, хроматична аберація), експозиції, насиченості, яскравості; налаштування деталізації («Різкість», «Локальний контраст», «Краї», «Мікrokонтраст»); проведення кольорової корекції («Еквалайзер HSV», «Барвистість», «Відтінки шкіри») тощо.

Доведено, що порівняння JPEG та RAW форматів має свої складнощі, через те, що для JPEG зображень відбувається певний процес обробки, який неможливо відмінити, відокремити від фотографії. Це, наприклад, встановлення балансу білого, корекція контрасту, насиченості тощо. Для RAW формату обробка не відбувається, тому при відкритті зображень в обох форматах, будемо бачити різницю у відображенні. Так як компанії зазвичай не розголошують особливості процесів, що відбуваються при записі фотографій, повернути JPEG фотографію до «сирого» формату неможливо, отже і не можливо отримати ясність у порівнянні відображень обох форматів.

При цьому, виявлено, що RAW формати зображень мають більшу деталізацію, більший спектр кольору. Є інструменти, що можуть працювати тільки для RAW файлів (наприклад, вибір алгоритму демозаїки, корекція деяких видів шумів тощо). При роботі із таким файлом дійсно легше контролювати процес та отримувати потрібний результат.

ВИСНОВКИ

RAW формати фотографій – це не нова розробка. Це було відкриттям для професійних фотографів, проте ще у ті часи виникали складнощі із використанням технології: велика кількість форматів, недоступність специфікацій, відсутність зручного, універсального програмного забезпечення тощо. Вони лишаються і у наш час через фокус компаній на прибутку та бажання бути першим у індустрії. Тоді як об'єднання зусиль для вдосконалення технології могло б спричинити технологічний прорив.

З іншого боку, бачимо велику кількість незалежних підприємців, що створюють безліч спроб покращити ситуацію – наприклад, легендарна розробка «dcraw», якою користуються навіть великі виробники. Завдяки ній з'явилося і програмне забезпечення RawTherapee, за допомогою якого проводилось дослідження.

Щодо процесу обробки, при роботі із RAW дійсно легше контролювати процес та отримувати потрібний результат. Серед переваг можна зазначити більшу деталізацію, більший спектр кольору фотографій, відповідно і кращу кінцеву якість. Є інструменти, що можуть працювати тільки для RAW файлів (наприклад, вибір алгоритму демозаїки, корекція деяких видів шумів тощо).

RAW починає з'являтися і у більш популярних сьогочасних носіїв для створення фотографій – смартфонах. Однак, це все ще інструмент для професіоналів. Щоб провести якісну обробку, потрібно знати велику кількість нюансів. До того ж, файли мають обсяги, значно більші за файли популярніших форматів.

Прогрес у сучасному світі настільки швидкий, а формат розвивається занадто повільно. Тож, напевно, на розробках RAW буде створено щось нове. Та до цього для професійних фотографів кращої альтернативи немає.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Digital Negative Specification (version 1.5.0.0). 2019 p.
2. Р. Ліон. Prism-Based Color Separation for Professional. Матеріали конференції «Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems». - Портленд : Видання «The Society for Imaging Science and Technology», 2000.
3. Ш. МакХью. Digital camera sensors. Вебсайт «Cambridge in Colour». URL: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm> (дата звернення 15.04.2021 р.).
4. М. Лапте́нок. Основы фотографии. Светочувствительный сенсор. Вебсайт «Photo-monster». URL: <https://photo-monster.ru/books/read/osnovyi-fotografii-4.3.html> (дата звернення 15.04.2021 р.).
5. Н. Красильников. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. - Санкт-Петербург : Видання «БХВ-Петербург», 2011.
6. К. Хіракава Т. Паркс. Adaptive homogeneity-directed demosaicing algorithm. - Ітака : Видання «IEEE Transactions on Image Processing», 2005 p.. - 3 : Т. 14.
7. Б. К. Гунтурк Й. Глоцбах, Ю. Алтунбасак, Р. В. Шафер, Р. М. Мерсеро. Demosaicking: Color Filter Array Interpolation in Single-Chip Digital. Видання «IEEE Signal Processing Magazine», 2005 p.. - 1 : Т. 22.
8. RawPedia. (RawTherapee's documentation), 2020 p.
9. Н. Ян. Image Interpolation - Demosaicing Algorithms for Bayer Pattern Sensors. URL: <https://thedailynathan.com/demosaic/index.php?image=raw.png> (дата звернення 15.04.2021 р.).

10. М.Лаптенюк. Конвейер цифровой обработки изображения. Вебсайт «Photo-monster». URL: <https://photo-monster.ru/books/read/osnovyi-fotografii-4.6.html> (дата звернення 01.05.2021 р.).
11. К. Нозер. Managing image data in aquatic sciences: an introduction to best practices and workflows. - Квебек : Інститут Моріса Ламонтаня, 2011.
12. Metadata Working Group (об'єднання корпорацій «Adobe Systems», «Apple», «Canon», «Microsoft», «Nokia»). Guidelines For Handling Image Metadata (версія 2.0). - 2010.
13. UPDIG Coalition. Universal Photographic Digital Imaging Guidelines v 4.0. - 2008.
14. П. Маттійс. RawTherapee 3.0 Users Manual. - 2011.
15. Б. Фрейзер. Understanding digital RAW capture // Веб сайт корпорації "Adobe". URL: adobe.com/digitalimag/pdfs/understanding_digitalrawcapture.pdf (дата звернення 01.05.2021 р.).
16. NISO (National Information Standards Organization). Understanding Metadata: What is metadata, and what is it for? - Балтімор, 2017.
17. Standardization Committee. Стандарт CIPA DC-010-2020 (Exif2.32 metadata for XMP). Camera & Imaging Products Association, 2017.
18. Борг І., Тутубалін О. Два пути в никуда. - Москва : Журнал «Компьютерра», 2008 р., выпуск 758.
19. Digital Negative (DNG). Загальнодоступний формат архіву для необроблених зображень із цифрової камери (RAW-файлі) // Веб сайт корпорації «Adobe». URL: <https://helpx.adobe.com/ua/photoshop/digital-negative.html> (дата звернення 01.05.2021 р.).

20. Nikon Electronic Format (NEF) // Веб сайт компанії «Nikon». URL: <https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/products-and-innovation/nikon-electronic-format-nef.html> (дата звернення 01.05.2021 р.).
21. Camera Raw Files // FileInfo. The File Information Database. URL: https://fileinfo.com/filetypes/camera_raw (дата звернення 01.05.2021 р.).
22. Decoding raw digital photos in Linux // Домашня сторінка Дейва Кофіна. URL: <https://www.dechifro.org/dcraw/> (дата звернення 01.05.2021 р.).
23. darktable 3.4 user manual. URL: www.darktable.org/usermanual/en/ (дата звернення 01.05.2021 р.).
24. А. Єфремов. Секреты RAW. Профессиональная обработка. - Санкт-Петербург : Видання "Питер", 2008.
25. Е. Мартінес. Aspects of Noise Reduction in Raw Data // The University of Chicago. URL: <http://theory.uchicago.edu/~ejm/pix/20d/tests/noise/noise-p4.html> (дата звернення 01.05.2021 р.).
26. Є. Пескарьов Основы обработки фотографий для начинающих фотолюбителей. - Москва, 2020.

ДОДАТОК А.

SUMMARY

SUMMARY

Photography has become commonplace in the lives of many people. It is a way of communication, preservation of memory, at the same time it can be a tool for self-expression, creation of an art object. New technologies are becoming available not only for professionals but also for amateurs. But expectations are also growing; everyone wants to get a fascinating image. RAW photo formats allow greater control over processing and, consequently, quality.

Translated from English, the word "raw" means "uncooked", "unprocessed". This reflects the essence of the format, because RAW is just a set of data, parameters that have not yet been processed by the camera. They can be changed, adjusted. And only then converted to files for viewing photos.

RAW is also compared to the concept of "negative" in analog cameras. Yes, the format is called a "digital negative". Like films that need to be developed to obtain an image, RAW also uses algorithms to convert data into a photograph.

Light falls on a matrix, which is created from a large number of light-sensitive cells. Depending on the to the intensity of the light, an electrical signal is produced. With the help of analog-to-digital conversion, the signal is written as a binary code. The more photons the cell "catches", the lighter the tone of the future pixel will be. If the cell "catches" the maximum or greater number of photons set by the manufacturer, the matrix will perceive it as white. Similarly, with a minimum and fewer photons, the color will match black.

So we can only get a black and white photo. To make the photo color, usually we use a Bayer filter. This is a set of color filters that are on top of the cells of the matrix. For each cell, the filter passes only one of the three primary colors - red, green or blue. Two green filters are used for each group of four cells, because the human eye is most sensitive to this color.

One way to improve image quality is demosaicing. When shooting in standard image formats, this process takes place without the participation of the photographer according to the built-in camera algorithms. As a result, we get a finished image.

While the advantage of the RAW format is the recording of data from sensors and the ability to change many parameters. You can also choose algorithms for demosaicing. However, the freedom of choice depends on the camera model, settings, software, etc.

RAW formats provide recording the values from the sensor without further processing. This is usually the data obtained after the analog-to-digital conversion of an analog signal, photons, "caught" to the cells. Of course, even at the stage of "counting" photons, errors can occur - residual charge values from previous captured frames, insufficient sensitivity, malfunctions and even complete inoperability of the sensor. But in further calculation, errors will only accumulate.

With standard graphic formats, compression is usually used to store information more compactly. Information that cannot be recognized by the human eye and that will not affect the perception of the whole image can be deleted. Also, when making changes to such files, overwriting them, the quality may deteriorate due to the accumulation of errors.

With RAW formats, you can work with raw data without losing information. The camera settings are saved as metadata when the image is taken. They are changed and applied when exporting to a new file. When working with a RAW file again, the quality will not change, as the settings for the original file do not apply. That is, a RAW file is a container with image information that can be manipulated. It is possible to use such information many times, obtaining different results by processing and exporting to other formats.

The standard composition of a RAW file is:

- file title (file order indicator, file ID, etc.);

- data from the camera sensor;
- camera settings (exposure, camera model, shooting date and location, copyright, etc.);
- images for preview on the camera display, in file systems or software that work with the image.

Metadata is data that complements the understanding of other specific data. This concept is used in many industries for various purposes. For example, when organizing libraries, the data will be the text of the book, its physical or electronic copy, and the metadata – is the name, surname of the author, year of publication, edition, and so on. Here's another example - the author of certain material that provides personal information (name, surname, e-mail, phone number) to protect copyright of a particular object.

Metadata is also used in photography. This information is usually recorded when creating an image - location, shooting time, camera model, certain parameters and settings.

Each image format can store metadata differently. Usually this information is written to a file - so it's easier not to lose data. But sometimes separate files are created for this. They may also appear when editing in the software. For example, in RawTherapee, such files store the settings made in the program. Thus, the original file remains unchanged, and if you want to return to editing, you only need to run the additional created file.

Currently, there is no common standard, a single RAW format. Usually each manufacturer uses its own, self-developed standard, which sometimes varies depending on the camera model. In addition, specifications of such formats are often not published or are not published in full. Disclosure can "inspire" competitors to improve their own developments. Some metadata tags are added just in case, and their openness encourages responsibility for their content, the relevance of real values to marketing promises. As for programs for processing RAW files, often the camera manufacturer

develops special software. Using all the company's products increases profits and makes the user "dependent" on them. And with an open specification, it is easier for other companies and entrepreneurs to reproduce products for "foreign" formats. The use and comparison of competing formats can affect the image of manufacturers and, consequently, lead to losses.

The best converter for a particular format will be a specially designed program from the camera manufacturer, as only the manufacturer knows all the features and nuances of the model.

Since the specifications of most formats are not available, independent developers must first "disassemble" the standard, and only then create processing algorithms. By function, the software may vary – software to view and edit file metadata, to convert to other formats, or even complex editors, whose functions include listed and some others.

The possibilities of processing RAW files were investigated using RawTherapee software, comparison were made between JPEG and NEF image formats (Nikon format, photos taken on the Nikon D5100 camera).

The following functions were tested: selection of the demosaicing method, white balance setting, noise elimination ("Dark Frame", "Noise reduction"); correction of optical defects (vignetting, distortion, chromatic aberration), exposure, saturation, brightness; detail adjustment ("Sharpness", "Local Contrast", "Edges", "Microcontrast"); color correction ("HSV Equalizer", "Skin Tones"), etc.

It is proved that the comparison of JPEG and RAW formats has its difficulties due to the fact that for JPEG images there is a certain processing, which cannot be undone, separated from the photo. This is, for example, white balance, contrast correction, saturation, and so on. For RAW format processing does not occur, so when opening images in both formats, we will see the difference in display. Because companies do not usually disclose the specifics of the processes that occur when

recording photos, it is not possible to return a JPEG photo to a "raw" format, so it is not possible to get clarity when comparing both formats.

It was proven that RAW image formats have greater detail, a greater range of colors. There are tools that can only work for RAW files (for example, selecting a demosaicing algorithm, correcting some types of noise, etc.). When working with such a file, it is really easier to control the process and get the desired result.

Progress in the modern world is so fast and the format is evolving too slowly. So, probably, something new will be created based on RAW developments. But there is no better alternative for professional photographers for now.