

ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАФИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ГЕОГРАФОВ

О. В. Вахнина, С. Г. Нечелюстов,
Е. Г. Харьковец, Е. Р. Чалова



МОСКВА
2016

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

О. В. Вахнина, С. Г. Нечелюстов, Е. Г. Харьковец, Е. Р. Чалова

**ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАФИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ – ГЕОГРАФОВ**

Географический факультет МГУ

2016

УДК 910.2 : 778. 3 : 778.4
ББК (Ж/О)37.941
Ц75

*Рецензенты: д-р техн. наук А. П. Гук,
д-р геогр. наук О. П. Ермолаев*

*Печатается по решению
Учёного совета географического факультета
Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова*

О. В. Вахнина, С. Г. Нечелюстов, Е. Г. Харьковец, Е. Р. Чалова

ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАФИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ – ГЕОГРАФОВ: Учебное пособие. – М.:
Географический факультет МГУ, 2016. – 53 МБ (92 с.)

ISBN 978-5-89575-233-3

Изложены основы цифровой фотографии и особенности применения цифровой наземной фотосъёмки в полевых географических исследованиях. Представлены рекомендации по использованию цифровых фотоаппаратов любительского класса, организации и проведению фотосъёмки, выбору установок фотоаппарата и обработке цифровых снимков для получения изображений высокого качества.

Для студентов всех направлений бакалавриата, преподаваемых на географическом факультете. Пособие может быть полезно для специалистов-географов, применяющих в полевых исследованиях цифровую наземную фотосъёмку.

УДК 910.2 : 778. 3 : 778.4
ББК (Ж/О)37.941

ISBN 978-5-89575-233-3

© Коллектив авторов, 2016

© Географический факультет МГУ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
Фотография в географических исследованиях.....	6
1. ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ФОТОГРАФИЮ.....	14
1.1. Цифровой снимок.....	14
1.2. Фотографический способ передачи информации об объекте. От источника света к цифровому снимку.....	17
1.3. Источники света. Падающий световой поток.....	19
1.4. Объект съёмки. Отражённый световой поток.....	22
1.5. Построение оптического изображения. Объектив фотоаппарата.....	25
1.6. Регистрация изображения. Светочувствительная матрица фотоаппарата.....	33
1.7. Оценка отражённого светового потока. Экспозиция.....	37
1.8. Цифровая запись снимка. Форматы цифровых снимков.....	38
1.9. Компьютерная обработка снимков для улучшения качества изображения.....	39
2. ФОТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	52
2.1. Цифровой фотоаппарат. Принципиальная схема устройства.....	52
2.2. Дополнительное фотографическое оборудование.....	60
3. ФОТОСЪЁМКА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	64
3.1. Планирование фотосъёмки при полевых географических исследованиях.....	64
3.2. Планирование сюжета и композиции кадра.....	66
3.3. Выбор, учёт и организация условий освещения объекта.....	76
3.4. Выбор установок фотоаппарата для получения изображения высокого качества.....	84
3.5. Выбор вида съёмки.....	87
3.6. Документирование фотосъёмки.....	88
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	91

Предисловие

В программе подготовки географов на географическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова особое внимание уделяется методам полевых исследований как специальным, связанным с изучением отдельных компонентов ландшафта, так и универсальным, которые студент-географ должен освоить независимо от его специализации. К таким методам можно отнести наземную цифровую фотосъёмку, без которой сейчас не обходится ни одна экспедиция. Разнообразие типов современных цифровых фотоаппаратов и видов съёмок, возможности компьютерных преобразований цифровых снимков позволяют использовать цифровую фотографию для разностороннего описания географических объектов.

Задача пособия – познакомить студентов-географов с начальными сведениями, необходимыми для овладения цифровой фотографией, различными видами наземных фотографических съёмок и особенностями их применения в полевых географических исследованиях, помочь освоить технические приёмы и приобрести навыки получения и обработки цифровых фотографий.

Учебное пособие состоит из трёх разделов. Материал первого раздела должен помочь будущему географу понять суть процесса регистрации и компьютерной обработки цифровых изображений, полученных в процессе фотосъёмки, содержит советы по преобразованию снимков для улучшения их качества. Во втором разделе рассматривается устройство цифрового фотоаппарата, назначение отдельных его частей, а также другое фотографическое оборудование. В третьем представлены рекомендации по планированию съёмки для получения изображений высокого качества: выбору точки, времени съёмки, условий освещения, основных параметров работы фотоаппарата, сюжета и композиции кадра.

Учебное пособие предназначено для самостоятельного изучения основ цифровой фотографии. В дополнение к нему рекомендуется использовать два других пособия: «Цифровая фотография для студентов-географов. Специальные виды съёмки», содержащего обучающие видеофильмы и обзор видов съёмки, которые могут быть полезны географам а также пособие «Цифровая фотография для студентов-географов. Практические работы», в которой приведены примеры заданий, направленных на освоение технических приёмов специальных видов съёмок с использованием фотоаппаратуры как профессионального, так и любительского класса.

Пособие разработано в лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова и основано на обобщении опыта работы факультативного практикума по цифровой фотографии. Занятия практикума, организованного по инициативе заведующего лабораторией аэрокосмических

методов Ю. Ф. Книжникова и при поддержке декана (до 2015 года), а ныне президента географического факультета Н. С. Касимова, проводятся более десяти лет на общегеографической практике студентов первого курса на учебно-научном полигоне «Сатино». В первые годы подготовка и проведение занятий выполнялись В. В. Вальковой, с 2008 г. – О. В. Вахниной и С. Г. Нечелюстовым. В пособии использованы фотоснимки О. В. Вахниной, С. Г. Нечелюстова и студентов географического факультета, проходивших практику в период с 2008 по 2014 гг. О. В. Вахнина является автором предисловия, разделов 1.1, 1.2, 1.6, 1.9, 2.1, 3.1–3.3, 3.5, 3.6; С. Г. Нечелюстов – разделов 2.1, 3.4; Е. Г. Харьковец – разделов 1.3–1.8, 2.1; Е. Р. Чалова – разделов «Фотография в географических исследованиях», 2.2, 3.2.

Редактирование и подготовку рукописи к изданию выполнили Е. Р. Чалова и О. В. Вахнина.

Авторы пособия благодарят рецензентов работы, всех сотрудников лаборатории аэрокосмических методов за ценные замечания и советы, позволившие улучшить содержание пособия. Особую благодарность авторы выражают Ю. Ф. Книжникову, по инициативе и при содействии которого создавалось это пособие.

Фотография в географических исследованиях

Одной из важнейших задач географии всегда была фиксация в виде изображений полученных знаний о Земле, о распределении объектов и явлений во времени и пространстве. Важность зрительного образа в географических исследованиях не вызывала сомнений, ибо в географии есть вещи, которые нельзя передать словами и которые требуют наглядного представления. Большинство географов-исследователей были хорошими рисовальщиками. Достаточно вспомнить имена Н. М. Пржевальского, П. П. Семёнова-Тян-Шанского, Н. Н. Миклухо-Маклая, Ф. Нансена. Географы-путешественники стремились с документальной точностью зарисовать свои наблюдения, уделяя особое внимание правильности и чёткости изображения, точности в передаче форм и размещения изображаемых объектов, правильному соотношению их размеров, и при этом отразить в рисунке географическую сущность объекта. По этой же причине часто участниками экспедиций становились художники, которых позже заменили фотографы.

Фотография (в переводе с греческого – рисование светом, светопись) была открыта не сразу и не одним человеком. Люди давно стремились найти способ получения изображений, который не требовал бы долгого и кропотливого труда художника. В это изобретение вложен труд учёных многих поколений разных стран мира.

Оптическая история фотографии насчитывает примерно тысячу лет с момента появления первой камеры-обскуры. Арабский математик и учёный десятого века Алхазен из Басры, изучавший поведение света, заметил, что солнечный луч, проникая сквозь небольшое отверстие в тёмное помещение, оставляет на стене световой рисунок предметов внешнего мира. Предметы изображаются в точных пропорциях и цветах, но в уменьшенных, по сравнению с натурой, размерах и в перевёрнутом виде. Алхазен пользовался камерой-обскурой для наблюдений за затмениями Солнца, зная, что вредно смотреть на него невооружённым глазом. Принцип работы камеры-обскуры описал Леонардо да Винчи. Практическую пользу камера-обскуры стала приносить художникам семнадцатого и восемнадцатого веков, когда в моду вошли портреты-силуэты. Размер камеры всё время уменьшался. Стало возможным пользоваться камерой-обскурой на природе. Так стали называть и ящик с двояковыпуклой линзой в передней стенке и полупрозрачной бумагой или матовым стеклом в задней его стенке. Такой прибор надёжно служил для механической зарисовки предметов внешнего мира. Перевёрнутое изображение достаточно было, используя зеркало, привести к привычному виду и обвести карандашом на листе бумаги. Это была, что называется, «фотография до фотографии», упростившая труд рисовальщика. Например, в середине XVIII в. в России камерой-обскурой в виде походной

палатки, называвшейся «машина для снимания перспектив», были документально запечатлены виды Петербурга, Петергофа, Кронштадта и других русских городов.

Целенаправленная работа по химическому закреплению светового изображения в камере-обскуре началась в первой трети XIX в. Наилучших результатов добились известные теперь всему миру французы Жозеф Нисефор Ньепс, Луи-Жак Манде Дагер и англичанин Вильям Фокс Генри Тальбот. Их и принято считать изобретателями фотографии.

Ньепс был первым, кто сделал изображение закреплённым (1820-е годы), впервые избавившись от услуг художника. Он называл изображения, полученные в камере-обскуре, «отражением видимого». Пластины из стекла, меди или сплава олова со свинцом покрывались особым битумом, который растворялся в животном масле, и экспонировались восемь часов. В результате получалась единственная фотография. Принцип «негатив-позитив», давший возможность получать многочисленные отпечатки, несколькими годами позже был предложен Тальботом, назван им «калотипией» (с греч. «прекрасный отпечаток») и положил начало всей современной фотографии.

Дагер не изобрёл фотографию, но он сделал её популярной. Он заключил с Ньепсом контракт о сотрудничестве и сделал всё, чтобы изобретение Ньепса воплотилось в жизнь, но с использованием таких химических элементов, которые были неизвестны Ньепсу. Принцип Дагера проявлять с помощью ртутных паров, получивший название дагерротипии, был оригинален и надёжен и основан, без сомнения, на знаниях, полученных Дагером от Ньепса. Дагер заинтересовал своим изобретением астронома Доменика-Франсуа Араго, который в 1839 г. доложил Академии наук об удивительном методе Дагера получать фотографические изображения природы во всех деталях без участия руки художника – картины, нарисованные самим Солнцем. Сообщение о дагерротипе произвело сенсацию.

Возможность фотографии стать полным и точным документом была признана мгновенно. Первые фотографии не теряли времени даром. Вскоре появились фотографии Аравийской пустыни, пирамид Гизы, Абу Симбела и храмов Карнака, Мексиканской и Крымской войн, «Кровавого Канзаса» и восстания сипаев. В Нью-Йорке стали издаваться два фотографических журнала. Появились первые фотографические книги. В обсерватории Гарвардского колледжа камера была соединена с телескопом, чтобы получить детальный снимок Луны. В 1856 г. Лондонский университет включил фотографию в программу учебных дисциплин. Хотя уже тогда главной целью и функцией фотографии была непосредственная документальность, выдающиеся деятели науки и искусства признавали, что у фотографии имеются огромные возможности, которые должны быть раскрыты и приведены в действие.

Американец Мэтью Б. Брэди, самый представительный фотограф своего времени, который с таким чувством и художественным вкусом снимал портреты великих и прославленных людей, решил зафиксировать гражданскую войну США на фотографиях. Его исторические снимки

позволяли людям следить за военными действиями, быть свидетелями сцен реальных конфликтов и почувствовать разрушительную силу войны.

Тимоти Х. О'Салливэн, снимавший вместе с Брэди гражданскую войну, после её окончания, в 1867 г., когда американское правительство организовало геологическое исследование сороковой параллели, стал официальным фотографом в этой экспедиции. Он фотографировал величественные виды природы у водопадов, озёр, рек, горные хребты высоких Скалистых гор, спускался в глубокие шахты, чтобы сделать там снимки при вспышках магния.

Современником О'Салливэна был Уильям Генри Джексон. С камерой он исколесил всю страну, работая на Управление геологических изысканий Соединённых Штатов. Его фотографии помогали людям узнать о красотах природы Америки.

Многие художники, издатели и скульпторы выступали против фотографии, считая её угрозой с экономической точки зрения и отвергая её попытки утвердиться в качестве вида искусства. Лишь немногие художники стали заниматься фотографией и творчески её использовать. Среди последних был Надар – театральный драматург, художник-портретист и журналист-карикатурист. Надар был первым фотографом, успешно делавшим снимки с воздушного шара в 1856 г. Поднимаясь на воздушном шаре, Надар снял с высоты больше десятка видов Парижа, проявляя мокроколлодионные пластины в маленькой проявочной, оборудованной в качавшейся и кренившейся корзине. Осада в 1870 г. Парижа, оказавшегося отрезанным от внешнего мира, показала важность воздушной фотосъёмки. За время 131-дневной осады 55 воздушных шаров, до которых не могли достать прусские ружья, покинули Париж, имея на борту пассажиров, почту и почтовых голубей. Птицы возвращались с донесениями, сфотографированными на тонкой коллодионной плёнке (специальный процесс был разработан М. Дагронем), связывая Париж с остальным миром в течение всей осады. Надар был также одним из первых фотографов, делавших снимки при искусственном свете, и положил начало фотожурналистике.

В России практическое применение светописы началось сразу же после обнародования принципов фотографирования. Русские учёные не только проявили живой интерес к факту открытия фотографических процессов, но и приняли плодотворное участие в их изучении и усовершенствовании. Первые фотографические изображения получил выдающийся русский химик и ботаник, академик Юлий Фёдорович Фрицше. Это были фотограммы листьев растений, выполненные по способу Тальбота.

Первым русским мастером, овладевшим методами калотипии и дагерротипии, стал московский гравёр и изобретатель Алексей Греков. В июне 1840 г. он открыл первый в России «художественный кабинет» для портретной фотосъёмки. Им был разработан способ повышения долговечности дагерротипного изображения на серебряной пластине методом гальванопластики. Греков первым в мире предложил методом гальванопластики наносить слой серебра на медные

или латунные пластинки, что сделало дагерротипию более дешёвой и доступной большому числу людей.

Ещё одним человеком, внёсшим большой вклад в развитие русской фотосъёмки, стал Сергей Левицкий. Первые фотографии были сделаны им на Кавказе. Его дагерротипы с изображениями Пятигорска и Кисловодска были отправлены на международную выставку в Париж, где получили золотую медаль. Кроме того, Левицкий предложил ретушировать негативы для уничтожения или уменьшения технических недостатков.

В 80-х годах XIX столетия появляется жанр публицистического фоторепортажа. Его основоположником в России стал Максим Дмитриев, открывший в 1886 г. мастерскую в Нижнем Новгороде. Известны его «Волжская коллекция», в которой представлены фотографии Волги, снятые от истоков до устья в среднем через каждые четыре версты, и альбом «Неурожайные 1891–92 годы в Нижегородской губернии».

Говоря о технических достижениях в области фотографии в России до 1917 г., можно назвать десятки имён русских изобретателей, получивших патенты на оригинальные фотографические приборы и материалы. Например, в 1854 г. И. Александровский изобрёл стереофотоаппарат. Известный фотограф-изобретатель Л. В. Варнерке (В. Малаховский) в 1877 г. сконструировал фотокамеру с роликовой кассетой для фотографирования на съёмный коллодионный слой на желатинированной бумаге. Поручик русской армии Д. С. Измайлов (1880 г.) предложил конструкцию фотоаппарата для путешествий, устроенного по принципу револьверного барабана в соединении с системой магазинного ружья, в ложе которого находился запас пластинок. В 1882 г. С. Г. Юрковский изобрёл моментальный затвор, а в 1883 г. – шторно-щелевой затвор при пластинке. Подполковник И. И. Филипенко в 1885 г. сконструировал походный фотографический прибор – комплект из фотоаппарата и устройства для проявления на свету, который помещался в небольшом чемодане и был одинаково пригоден для обработки военных и экспедиционных фотоматериалов. В. И. Срезневский в 1886–1887 гг. создал фотоаппарат для воздушного фотографирования, съёмки под водой и регистрации солнечных затмений. 18 мая 1886 г. поручик русской армии А. М. Кованько, возглавлявший кадровую команду военных аэронавтов, в свободном полёте воздушного шара произвёл фотосъёмку с высоты 800 м в районе Петербурга. Аэрофотоаппараты с объективами, имеющими фокусные расстояния от 21 до 100 см, с успехом были применены во время русско-японской войны для уточнения топографических карт.

Многие русские фотографы-изобретатели стремились расширить возможности фотографии как вида искусства. В связи с этим необходимо вспомнить Ивана Болдырева. Изучая законы оптики и испытывая различные комбинации стёкол, Болдырев создал короткофокусный фотообъектив, позволяющий при портретной групповой съёмке передавать не только линейную, но и воздушную перспективу, о чём и сообщил фотографическому отделу Русского технического общества. Затем

он занялся разработкой гибкой прозрачной "смоловидной" плёнки взамен бьющегося стекла, которое являлось основой для фотопластин и продемонстрировал это изобретение на Всероссийской промышленной выставке в 1882 г. Кроме того, Болдырев в 1889 г. сконструировал точнодействующий моментальный фотозатвор для объектива. Используя короткофокусный фотообъектив и моментальный фотозатвор, он достиг заметных успехов при фотосъёмке пейзажа из окна вагона поезда.

В 1894 г. фотограф Н. Яновский изобрёл фотографический аппарат, позволяющий представить движущийся объект в виде серии моментальных фотографий, фиксирующих отдельные фазы движения.

На рубеже XIX–XX вв. русские фотографы полноправно участвовали в международных выставках и салонах, состояли членами международных фотографических обществ. При этом их работы получали самые престижные премии и награды.

Последние годы XIX столетия явились периодом широкого применения фотографии в науке и технике. В связи с этим необходимо упомянуть имя Евгения Буринского – основоположника русской судебной фотографии, с 1894 года – сотрудника Российской академии наук. Возглавив лабораторию по восстановлению древних писем, он разработал уникальный метод выявления угасших текстов, состоящий в многоступенчатом повышении утерянного контраста на документе.

Климент Аркадьевич Тимирязев был не только крупным учёным, но и фотохудожником, прекрасно владевшим техникой передачи красоты природы на фотографическом снимке. За серию совершенных и великолепных диапозитивов, на которых изображены растения и природа, он был удостоен серебряных медалей в 1895 г. на Московской фотографической выставке, а годом позже – на Нижегородской всероссийской промышленной выставке.

Стремительно расширялось применение фотографии в интересах географии. В середине XIX в. знаменитая экспедиция П. П. Семёнова в Тянь-Шань положила начало эпохе русских исследований Средней и Центральной Азии. Всестороннему изучению этих районов посвятили труды и А. П. Федченко, Н. А. Северцев, Л. С. Берг, Г. Н. Потанин, Н. М. Пржевальский и др. Богатые по результатам путешествия по Сибири совершили В. А. Обручев и В. Л. Комаров. Все они умело и продуктивно пользовались фотографией. Широко применял её в научных целях известный антрополог и географ Д. Н. Анучин.

Русские учёные-путешественники принимали участие и в исследованиях других частей света. Н. Н. Миклухо-Маклай, в 1870-х годах посетивший Новую Гвинею, Малайю, Индонезию, Филиппинские острова, собрал большой антропологический, этнографический, географический материал, документированный фотоснимками, дополнявшими его дневники. Он особо подчёркивал, что естествоиспытатель-путешественник должен сам владеть фотографией. Исследователь Тибета Г. И. Цыбиков в 1899 г. по поручению Русского географического общества

направился в Лхасу – столицу Тибета. Он проник в этот закрытый в те времена для европейцев город, переодевшись бурятским ламой-паломником, и, соблюдая множество предосторожностей, сумел сделать серию снимков Лхасы.

Привлечь фотографию к изысканиям стремились географы и этнографы, археологи и историки искусств, исследователи архитектуры. Пейзажи, памятники старины, быт и традиции народов, населяющих отдалённые уголки России, – всё входило в программу съёмок. Сегодня эти фотографические коллекции представляют огромную историческую ценность и служат достоверным источником информации. Среди фотографов-художников начала XX в. выделялся жанровыми снимками на темы крестьянской жизни Сергей Лобовиков. Значительные фотографические данные были собраны фотографами-путешественниками. Здесь следует отметить работы Л. К. Полторацкой и С. Б. Туманова. За интереснейший этнографический и видовой альбом фотографий Алтая и Семипалатинской области на Московской антропологической выставке (1879 г.) Полторацкая была удостоена большой серебряной медали. Туманов, путешествовавший в Приморье, в Забайкалье, на Сахалине и в Монголии, не ограничиваясь видовой съёмкой, запечатлел также труд каторжников на рудниках и золотых приисках.

Отдельного упоминания заслуживает учёный, фотохудожник, изобретатель, педагог Сергей Михайлович Прокудин-Горский (1863–1944), который был первым «цветным» фотографом в России и с художественным мастерством и документальной точностью увековечил природные ландшафты, религиозные святыни, военные и технические памятники, особенности быта и типы народов, населявших Российскую империю. Он хотел «оставить точный документ для будущего». В 1909 г. по высочайшему повелению императора Николая II Прокудин-Горский начинает целенаправленные экспедиционные съёмки Российской империи, называя это «сбором материалов по родиноведению». Мастеру выделили пульмановский вагон, специально оборудованный под лабораторию, а для работы на водных путях – пароход с полным составом команды, на трудных дорогах Урала – автомобиль Форда. Позже, уже в эмиграции, подводя итоги проделанным экспедиционным съёмкам, Прокудин-Горский перечисляет: «Обслужены были: Мариинский водный путь; Туркестан; Бухара (старая); Урал в отношении промыслов; вся река Чусовая от истока; Волга от истока до Нижнего Новгорода; памятники, связанные с 300-летием Дома Романовых; Кавказ и Дагестанская область; Мугальская степь; местности, связанные с воспоминаниями об Отечественной войне 1812 года; Мурманский железнодорожный путь. Кроме того, есть много снимков Финляндии, Малороссии и красивых эффектов природы».

Для решения важной общегосударственной задачи учёта и освоения природных богатств обширной территории России постоянно предпринимались экспедиции различного назначения. Получению объективных данных по многочисленным отраслям землеведения, естественно,

способствовала фотография, и всё шире по мере её усовершенствования. Фотография использовалась для ведения летописи состояния природы, уклада жизни, культуры народностей разных областей страны. Она стала одним из важнейших средств информации и документирования. Фотография любого ландшафта, сделанная в тот или иной момент, неповторима, поэтому фотографические коллекции представляют огромную историческую ценность и служат важным источником информации при изучении любого края. Фотографический вклад русских географов-путешественников, путешественников-фотографов второй половины XIX – начала XX вв. в мировое землеведение ещё ждёт своей систематизации и изучения.

Во второй половине XX в., одновременно с началом космической эры, стали разрабатываться методы цифровой передачи изображений. Ведь понятно, что отснятые на плёнку материалы требуют доставки на Землю и дальнейшей специальной обработки, в процессе которых существует вероятность потери данных. Первые, чисто цифровые снимки были получены при картографировании американскими астронавтами лунной поверхности и переданы на Землю в середине 1960-х годов. Цифровыми были и изображения, передаваемые с американских спутников-шпионов в 70-е годы прошлого столетия. Цветные изображения ландшафта Венеры впервые передала на Землю советская станция «Венера-13» (1982 г.). Ускорению развития цифровой фотографии способствовали условия холодной войны, когда активно использовались всевозможные шпионские технологии и секретные системы обработки изображений.

В 1969 г. Уиллард Бойл и Джордж Смит сформулировали идею прибора с зарядовой связью (ПЗС) для регистрации изображений, содержащих в качестве светочувствительных площадок светоприёмные элементы – пиксели, которые выстраивались в один ряд (тогда приёмник назывался ПЗС-линейкой) или ровными рядами заполняли участок поверхности (тогда приёмник называют ПЗС-матрицей). В настоящее время приборы такого типа широко применяются в самых различных электронных устройствах, в том числе в цифровых фотоаппаратах для регистрации изображения.

В 1973 г. начался промышленный выпуск ПЗС-матриц. Они были чёрно-белыми и имели разрешение всего 100×100 пикселей. В 1974 г. такая ПЗС-матрица и телескоп позволили получить первую астрономическую электронную фотографию.

Историю современной цифровой фотографии принято отсчитывать от камеры *Mavica* (сокращение от *Magnetic Video Camera*), выпущенной компанией *Sony* в 1981 г. *Mavica* была полноценной зеркальной камерой со сменными объективами и имела разрешение 570×490 пикселей, а полученные на ПЗС-матрице изображения сохранялись на специальном гибком магнитном диске в аналоговом видеформате *NTSC*. Примерно в то же время в канадском университете Калгари была разработана первая, полностью цифровая камера под названием *All-Sky camera* (камера с полем зрения, охватывающим полусферу). Она предназначалась для научной

фотосъёмки, была сделана на основе ПЗС-матрицы *Fairchild* и выдавала данные в цифровом формате. В 1992 г. фирма *Kodak* объявила о выпуске первой профессиональной цифровой фотокамеры *DCS 100*. Однако получаемые ею изображения годились по качеству лишь для печати на страницах газет. Поэтому пользоваться такой фотоаппаратурой целесообразно было лишь в тех случаях, когда сроки получения изображений были важнее, чем их качество.

Начиная со середины 90-х годов XX в. перспективы цифровой фотографии стали более ясными: цифровые фотокамеры стали более совершенными, компьютеры – более быстродействующими и менее дорогими, а программное обеспечение – более развитым. Цифровые камеры становятся доступными для массового потребителя. В своём развитии цифровые фотокамеры прошли путь до универсальной, простой в использовании фотоаппаратуры, встраиваемой даже в сотовые телефоны, а по качеству получаемых изображений сравнимой с плёночными фотоаппаратами. Растёт разрешение камер, расширяется их функциональность, улучшается работа встроенной вспышки, качества видеосъёмки, увеличивается ресурс аккумуляторов, совершенствуется система управления камерой, а цены уменьшаются. Продавцы уверены, что на рынке произошёл перелом в пользу «цифры», которая начала вытеснять плёночные фотоаппараты.

По мере совершенствования фотографии её роль в географических исследованиях для получения объективных данных возрастает и расширяется. Фотография почти любого ландшафта, сделанная в данный момент, неповторима, поэтому фотографические коллекции представляют огромную историческую ценность и служат неоценимым пособием для изучения любого края. Таким образом, можно определённо сказать, что фотография в силу своей объективности предназначена отражать повседневные изменения в природе, окружающей обстановке и экономике каждого района Земли.

1. ВВЕДЕНИЕ В ЦИФРОВУЮ ФОТОГРАФИЮ

1.1. Цифровой снимок

Поскольку все знания и навыки фотографа направлены на получение качественного фотоснимка, вникать в суть связанных с этим процессов лучше, имея представление о конечном результате. Что же из себя представляет фотографический снимок вообще и цифровой снимок в частности, и по каким параметрам оценивается их качество?

Известно, что термин *фотография* дословно обозначает рисование светом и *фотографический снимок* мы будем рассматривать как конечный продукт дистанционной регистрации испускаемого или отражённого объектом *светового потока*. *Фотографический снимок*, или для краткости *фотоснимок*, представляет собой двумерное одномоментное изображение, полученное путём проецирования на поверхность приёмника излучения и зафиксированное приёмником. Проецирование выполняется через линзы объектива фотоаппарата. В качестве приёмника может использоваться стеклянная пластина, фотоплёнка с нанесённым на них светочувствительным слоем или

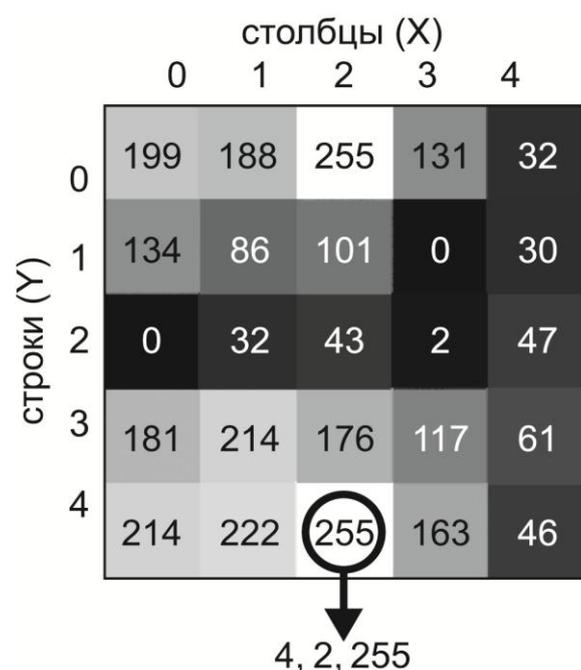


Рис. 1.1.1. Цифровая запись изображения

(рис. 1.1.1). Эта информация, представленная в виде цифровой записи массива чисел, может храниться, обрабатываться и передаваться как файл определённого формата, визуализироваться как изображение на экране монитора или отпечатка на бумаге.

Цифровые снимки могут быть получены различными съёмочными системами: цифровыми фотоаппаратами в наземных условиях, аэрофотоаппаратами с авианосителей, сканирующими аппа-

светочувствительная матрица. В последнем случае говорят о цифровых снимках (цифровых фотоснимках).

В отличие от снимка на фотоплёнке, который в наглядной, осязаемой форме показывает всё изображение объекта в целом, *цифровой снимок* хранит информацию о том же изображении в виде мозаики (растра) прямоугольных фрагментов – *пикселей*, образующих сетку из строк и столбцов.

Каждый пиксел цифрового снимка характеризуется условным значением *яркости*, связанным определённой зависимостью с реальной яркостью объекта, и растровыми координатами – номером строки и столбца, которые задают его положение в пределах сетки

ратами при съёмке из космоса. Однако при всех различиях, связанных со способами получения, цифровые снимки, качество получаемой по ним информации оцениваются исходя из общих показателей. К таким показателям относятся *пространственное, радиометрическое и спектральное разрешение*.

Под *пространственным разрешением цифрового снимка* понимают размер пиксела на местности. Оно измеряется в метрах, сантиметрах или миллиметрах и зависит от масштаба съёмки и размера элементарных ячеек светочувствительной матрицы. Каждая такая ячейка фиксирует усреднённую яркость соответствующего ей фрагмента оптического изображения, сформированного на поверхности матрицы. Чем меньше размер ячейки, тем меньше фрагмент изображения, и, в конечном итоге, размер пиксела. Снимки с малым размером пиксела (высоким пространственным разрешением) отличаются большей детальностью изображения (рис. 1.1.2).

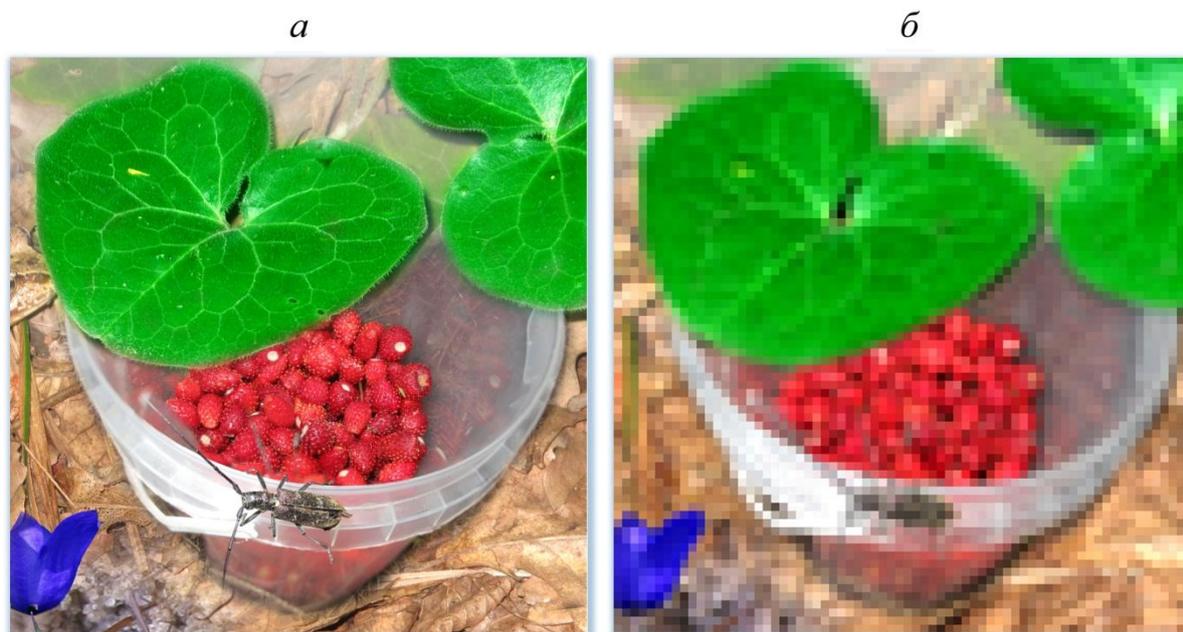


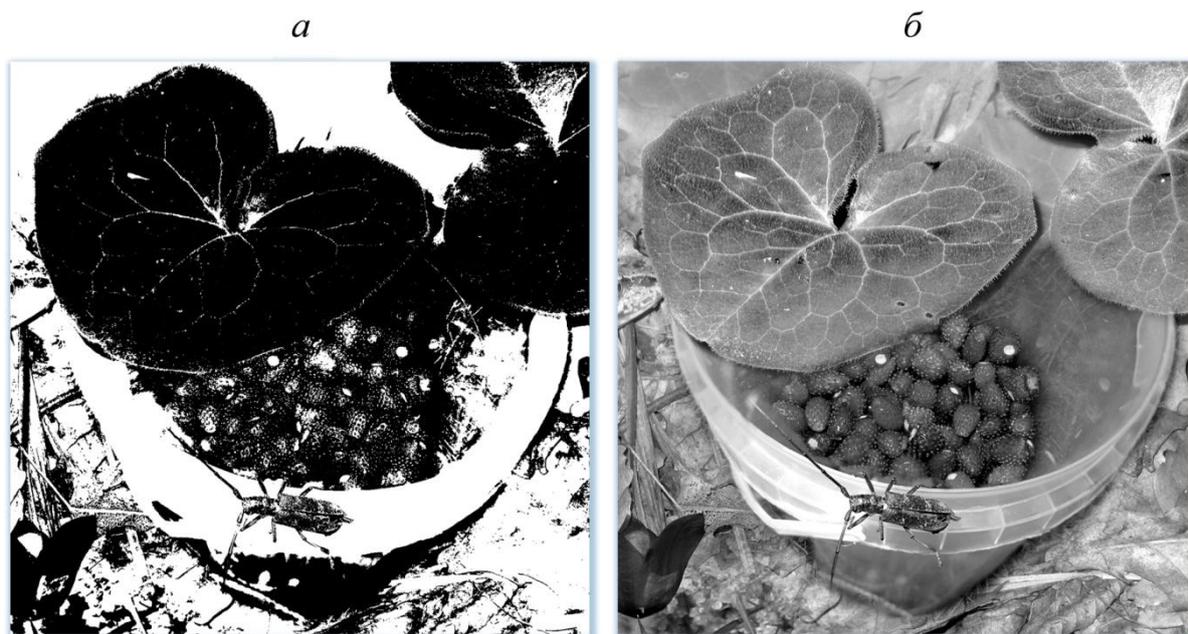
Рис. 1.1.2. Цифровые снимки с различным пространственным разрешением.

Размер стороны пиксела снимка «а» меньше размера стороны пиксела снимка «б» в 16 раз

Радиометрическое разрешение характеризует возможность отображения на снимке локальных контрастов. Оно показывает, с какой дробностью передаются на снимке градации яркости объекта (рис. 1.1.3). Интервал между минимальным и максимальным значениями яркости, которые фиксируются приёмником излучения, может быть разбит на разное количество условных ступеней. Если на запись яркости пиксела цифрового снимка отводится один бит, яркости объекта будут переданы двумя ступенями (0 или 1), если 8 бит, таких условных ступеней будет 256, а яркость каждого пиксела будет кодироваться числами от 0 до 255, если 11 бит – ступеней будет 2048 (от 0 до 2047) и т. д. Радиометрическое разрешение выражается в количестве бит на один пиксел и для большинства снимков, полученных современными любительскими фотоаппаратами, соответствует 8 битам на пиксел.

Электromагнитный спектр охватывает излучение с различными длинами волн. При выполнении съёмки на земле, с самолёта или из космоса в зависимости от чувствительности приёмника излучения регистрируют отражённую радиацию не по всему спектру, а в том или ином его интервале. От ширины этого интервала зависит *спектральное разрешение* снимка. Спектральное разрешение характеризуется длинами волн, выраженными в микрометрах (мкм) или нанометрах (нм). Чем больше интервал спектра, тем ниже считается спектральное разрешение. Низким спектральным разрешением порядка 0,4 мкм (400 нм) отличаются фотографические панхроматические (чёрно-белые) снимки. Они фиксируют интегральную яркость объекта в интервале, охватывающем почти весь *видимый* диапазон спектра электромагнитного излучения (от 0,4 до 0,8 мкм). Их чувствительность близка к спектральной чувствительности среднего человеческого глаза.

Так как в видимом диапазоне разные объекты могут иметь близкие значения интегральной яркости, не всегда всю необходимую информацию можно получить по таким снимкам. Однако съёмку можно выполнить не в одном, а одновременно в нескольких, более узких интервалах спектра. Для этого используют приёмники, избирательно регистрирующие излучение только в этих интервалах, например в красном, зелёном и синем. Таким образом получают три изображения, которые фиксируют яркости объектов в перечисленных зонах спектра. При сложении этих изображений можно получить цветной снимок объекта в модели *RGB*. В большей информативности такого снимка можно убедиться, сравнив рисунки 1.1.3-б и 1.1.4.



*Рис. 1.1.3. Цифровые снимки с различным радиометрическим разрешением:
а – радиометрическое разрешение 1 бит на пиксел (яркость кодируется 2 ступенями);
б – радиометрическое разрешение 8 бит на пиксел (яркость кодируется 256 ступенями)*

Спектральное разрешение каждого из трёх каналов съёмки составит в этом случае от 0,06 до 0,1 мкм (или от 60 до 100 нм), а на хранение информации о яркости пиксела будет отводиться не

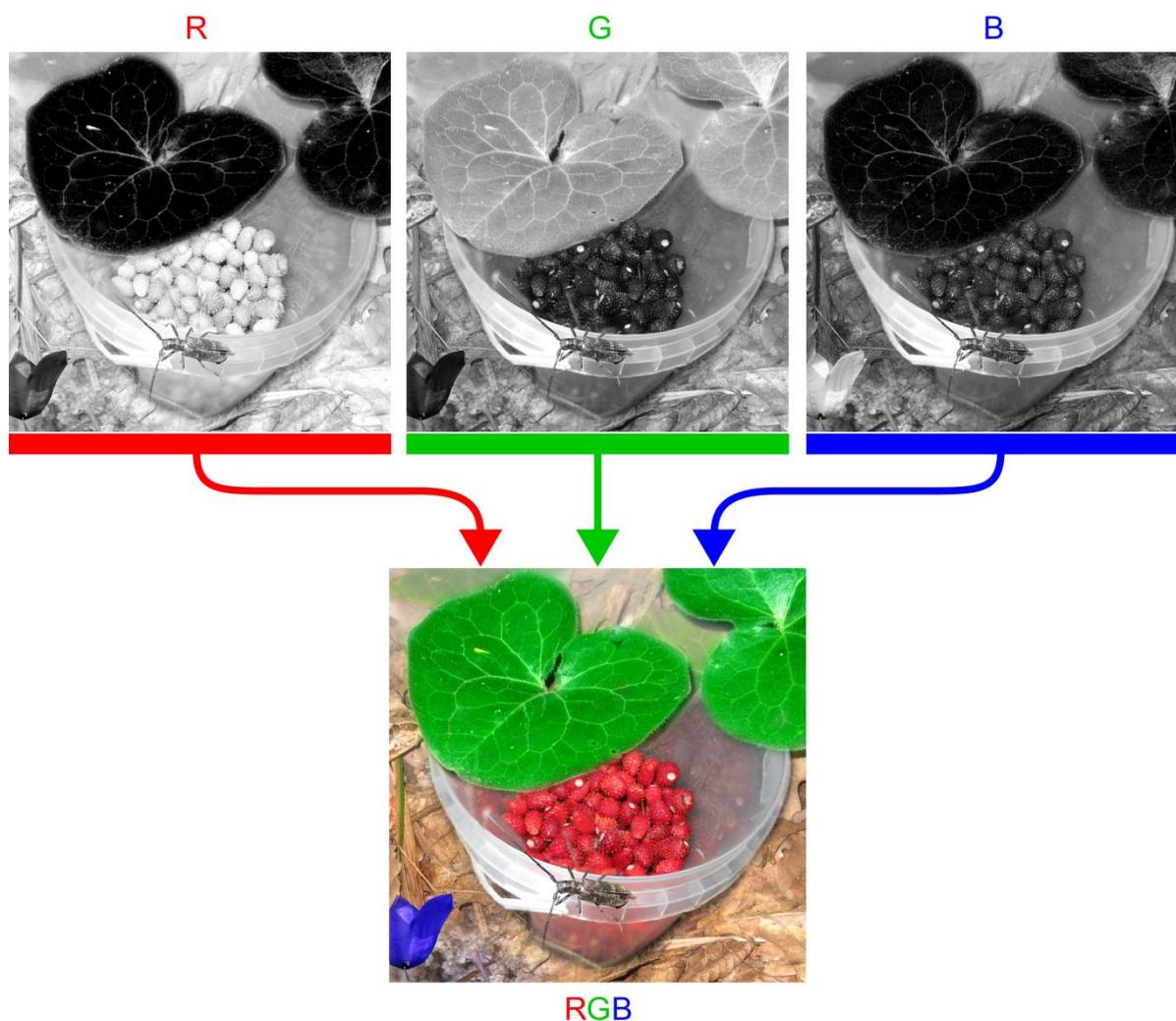


Рис. 1.1.4. Цифровой снимок в модели RGB

восемь бит, как у чёрно-белого цифрового снимка, а 24 – по восемь бит на каждый цвет. К таким снимкам относятся снимки, получаемые в наземных условиях цифровыми фотокамерами.

1.2. Фотографический способ передачи информации об объекте. От источника света к цифровому снимку

Основной задачей полевого географического исследования является сбор исходной информации об исследуемом объекте. Представленная в виде комплексного географического описания, она состоит из текстов, рисунков, карт, результатов измерений, проб. Появление фотографии позволило дополнить географическое описание более объективным, чем рисунок, визуальным образом объекта. Стало возможным собирать информацию о типе, структуре, состоянии, размерах, объекта, используя для этого снимки, то есть, исследуя не сам объект, а его фотографическую модель. Чтобы правильно оценить точность и достоверность такой информации, необходимо знать, как формируется и что из себя представляет фотографическая модель объекта.

Известно, что основной объём информации человек получает посредством зрительного воспри-

ятия окружающего мира в результате работы сложно устроенной зрительной системы. Одним из основных элементов этой системы является глаз – приёмник первичной информации, которая поступает в него в виде светового потока. Если взглянуть на историю технических изобретений человечества, можно убедиться, что они, так или иначе, копируют «изобретения» природы. Не стала исключением и фотография. В основу фотографического способа передачи информации, технологии получения фотокопий наблюдаемого человеком окружающего мира, положены принципы работы человеческого глаза.

Как и при любом дистанционном способе, при фотографическом способе информация от объекта к человеку поступает посредством канала передачи информации, состоящего из последовательно расположенных передаточных звеньев – различных материальных сред и устройств. На рис. 1.2.1 представлены основные звенья каналов передачи информации от объекта к наблюдателю в случае непосредственного наблюдения объекта и при использовании фотографического канала передачи информации.



Рис. 1.2.1. Основные звенья передачи информации: а – при непосредственном наблюдении объекта; б – при цифровой фотосъёмке

В соответствии со свойствами каждого из передаточных звеньев сигнал, несущий информацию об объекте, претерпевает ряд изменений, приводящих к частичной потере и искажению информации (изменению спектрального состава, ослаблению светового потока и др.).

В результате таких изменений исходного сигнала наблюдаемое на экране монитора или на бумажном отпечатке изображение объекта не будет полностью соответствовать его визуальному об-

разу, наблюдаемому человеком в момент съёмки. Главная задача фотосъёмки в научно-исследовательских целях – минимизировать потерю и искажение информации, добившись наилучшего соответствия снимка визуальному образу объекта. Сделать это можно, основываясь на знаниях о сути каждого из звеньев фотографического канала передачи информации.

1.3. Источники света. Падающий световой поток

Светом, или видимым светом, принято называть электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм, воспринимаемое зрением человека. Различают первичные источники света, излучающие в результате нагрева (от Солнца, ламп накаливания) или в результате люминесценции и подобных ей процессов (например, происходящих в ртутных и галогенных лампах), и вторичные источники, излучающие свет в результате частичного поглощения или рассеяния ими излучения первичных источников.

Падающий световой поток, поступающий от источника света, характеризуется направлением распространения, силой света и спектральным составом.

Световой поток, поступающий от точечного источника или имеющего малый, сравнительно с объектом съёмки, угловой размер, имеет хорошо выраженное направление распространения, обусловленное прямолинейным распространением световых волн. Такой источник света, образующий резко очерченные границы освещённого пространства, называют направленным. Напротив, световой поток от объёмного источника, или имеющего сравнительно большой угловой размер, образует мягкие, слабо выраженные границы освещённого пространства. Такой источник освещения называют рассеянным или диффузным.

Съёмку природных объектов обычно проводят днём, в условиях солнечного освещения. Солнечные лучи, проходя сквозь толщу атмосферы, частично поглощаются и рассеиваются, вызывая её свечение. Поступая на поверхность Земли, прямые солнечные лучи становятся первичным источником направленного излучения, а преобразованное атмосферой солнечное излучение, поступающее от всех точек небосвода, образует вторичный источник рассеянного освещения (рис. 1.3.1).

Сила светового потока, поступающего от источника освещения в рассматриваемом направлении, характеризуется создаваемой им освещённостью объекта

$$E = \frac{I}{D^2} \cos \alpha ,$$

где α – угол между нормалью к освещаемой поверхности и направлением на источник освещения, I – сила светового потока, D – расстояние до источника света.

Прямое солнечное излучение создаёт прямую освещённость объекта, рассеянное излучение неба – рассеянную освещённость, соотношение которых меняется в зависимости от времени суток. В

утренние и вечерние часы, при небольшой высоте Солнца над горизонтом, рассеянная освещённость в три раза превышает прямую, а в полдень прямая освещённость может более чем в пять раз превышать рассеянную.

Искусственные источники освещения – лампы накаливания, специальные фотографические лампы, фотографические вспышки – при съёмке природных объектов применяются значительно реже, в основном для дополнительной подсветки затенённых участков. При съёмке объектов при искусственном освещении необходимо помнить, что освещённость объекта падает пропорционально квадрату расстояния от источника освещения, и, соответственно, оценивать возможность его использования.

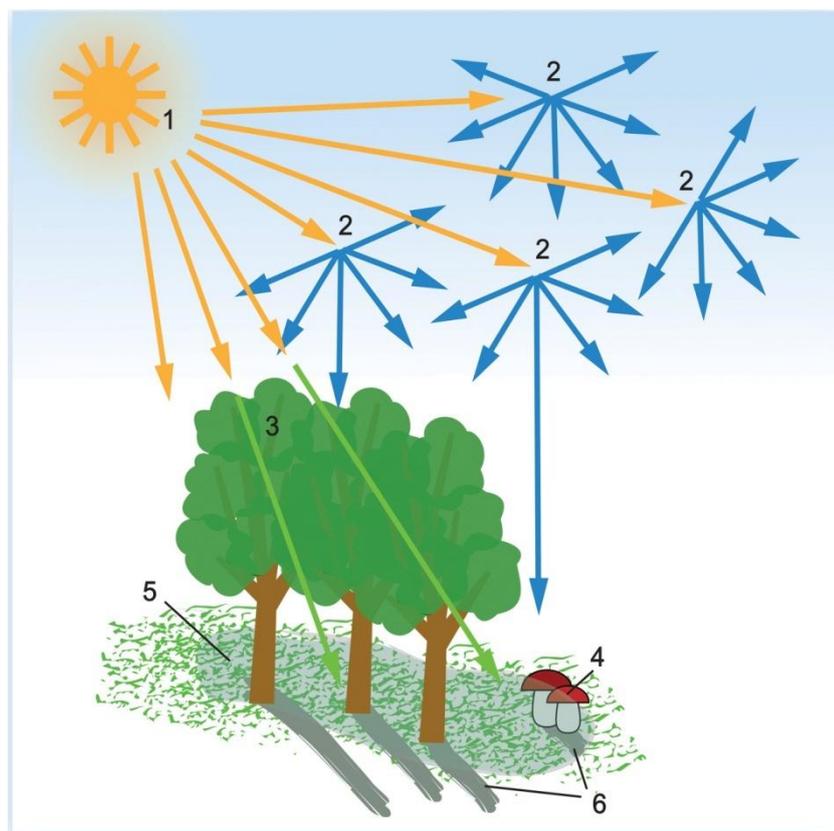


Рис. 1.3.1. Естественное освещение: 1 – солнечный свет – основной первичный источник естественного освещения; 2 – свечение атмосферы, вызванное рассеянием солнечного света – основной вторичный источник естественного освещения; 3 – излучение основных источников, пропущенное природными объектами (на рисунке – пологом леса), образует вторичный источник освещения с изменённым спектральным составом; 4 – освещение природных объектов образуется сочетанием излучения, приходящего от разных источников; 5 – область рассеянного освещения не имеет резких границ; 6 – область направленного освещения ограничивается не пропускающими свет объектами

Важнейшей характеристикой источника света является его спектральный состав – распределение энергии световых волн по электромагнитному спектру. Спектральный состав источников света принято характеризовать значением цветовой температуры. Цветовая температура источника света определяется как температура абсолютно чёрного тела, излучение которого имеет одинаковый с этим источником спектральный состав, и измеряется в градусах абсолютной шкалы Кельвина (К).

Истинная температура источника света может не совпадать с его цветовой температурой. Так, цветовая температура ясного неба в высоких широтах может достигать до 27 000 К, в то время как истинная температура верхних слоёв атмосферы на два порядка ниже (от -30°C до -60°C). Значения цветовой температуры некоторых источников света приведены в табл. 1.3.1.

Цветовая температура некоторых источников света

Цветовая температура, К	Источник света
1500	свет пламени свечи
2000	натриевая лампа уличного освещения
2680	лампа накаливания 60 Вт
2800	лампа накаливания 100 Вт
3000	галогенная лампа, люминесцентная лампа тёплого белого света
3400	Солнце у горизонта
4000	люминесцентная лампа холодного белого света
4500 – 5000	ксеноновая лампа
5000	Солнце в полдень
5500 – 5600	фотовспышка
5600 – 7000	люминесцентная лампа дневного света
6500	стандартный источник дневного белого света
6500 – 7500	облачное небо в средних широтах
7500 – 9500	безоблачное небо в средних широтах
15 000 – 27 000	безоблачное небо в полярных широтах

Спектральный состав естественного освещения меняется в зависимости от времени суток, облачности, прозрачности атмосферы, широтного расположения местности. В полдень цветовая температура Солнца примерно равна 5000 К, а в утренние и вечерние часы, из-за сравнительно большего рассеивания коротковолновой части спектра солнечного излучения атмосферой, понижается до 3400 К. Цветовая температура атмосферы меняется от 8000–9000 К в безоблачный день (в средних широтах) до 6000–7000 К с увеличением облачности. Освещающий фотографируемые объекты падающий световой поток, создаваемый сочетанием прямого солнечного излучения и рассеянного излучения атмосферы, по этим причинам может иметь различный спектральный состав и характеризуется большим интервалом цветовой температуры.

Искусственные источники освещения, излучающие в результате нагрева, например лампы накаливания, не относятся к абсолютно чёрным телам, но имеют с достаточной, применительно к фотографии, степенью точности схожий с ними спектральный состав излучения и поэтому также характеризуются цветовой температурой (см. табл. 1.3.1).

Лампы искусственного дневного света имеют линейчатый спектр, сбалансированный таким образом, что их свечение визуально соответствует естественному тепловому излучению с определённой цветовой температурой, например 3000 К для ламп тёплого белого света (рис. 1.3.2).

Галогенные лампы электронных фотовспышек, применяемых взамен или в дополнение к естественному освещению, для большего соответствия дневному свету заполнены смесью инертных газов, подобранной так, что их линейчатый спектр можно считать непрерывным.

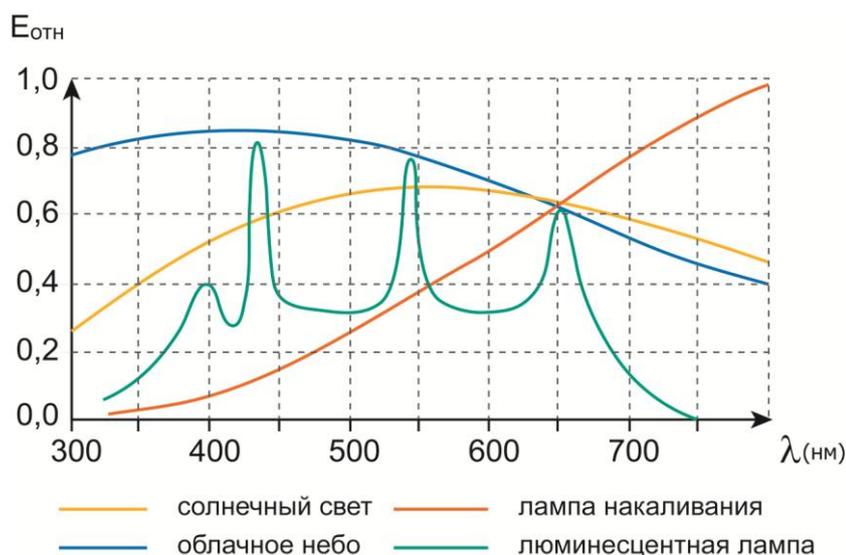


Рис. 1.3.2. Спектральный состав источников освещения – распределение относительной энергии излучения ($E_{отн}$) в световом диапазоне электромагнитных волн

Некоторые вторичные источники освещения, такие как зеленоватое рассеянное освещение под пологом леса, не удаётся даже приближённо охарактеризовать цветовой температурой, которой соответствует красно-жёлто-голубая шкала цветов. Для описания таких источников используют дополнительный параметр – степень отклонения цвета в зелёный или пурпурный, называемый цветовым смещением или оттенком.

Существуют и так называемые стандартные источники освещения, представляющие собой описание спектра теоретически определённых источников света. Стандартный источник дневного света D65 (*Daylight* 6500 K) примерно соответствует полуденному солнечному освещению в средних широтах. Его принято считать «стандартным осветителем» – эталоном, которому соответствуют осветительные приборы, применяющиеся в исследовательских целях при изучении свойств зрения, при цветокоррекции в фотографии, полиграфии и т. п. К стандартным источникам можно отнести и уже упоминавшееся абсолютно чёрное тело – теоретически определённый эталон излучателя, используемый в фотографии для спектральной характеристики реальных источников света.

1.4. Объект съёмки. Отражённый световой поток

Световой поток, достигая поверхности окружающих объектов, изменяется в зависимости от их свойств. Изменяются направление распространения светового потока, величина его энергии, спектральный состав. Часть световой энергии поглощается, остальной световой поток, в зависимости от строения объекта, может пропускаться им, рассеиваться внутренними частями объекта или отражаться от его поверхности.

Природные объекты, как правило, обладают свойством избирательного поглощения и рассеяния энергии различных частей электромагнитного спектра. Вследствие этого происходит изменение спектрального состава преобразованного объектом светового потока. Рассматривая объект «на просвет», наблюдатель воспринимает световой поток, пропущенный веществом объекта. При рассмотрении объектов в отражённом свете воспринимаемый наблюдателем световой поток образуется сочетанием частей падающего светового потока, отражённых внутренними элементами

объекта и непосредственно от его поверхности. На соотношение энергии потоков, отражённых от поверхности объекта и от его внутренних элементов, влияют строение поверхности, направления освещения и наблюдения.

Различают два противоположных по свойствам вида отражения (рис. 1.4.1). При *зеркальном отражении* (рис. 1.4.1 – а), характерном для плоских поверхностей объектов, световой поток отражается в направлении, составляющем с поверхностью угол, равный углу падения. Поток отражается непосредственно поверхностью объекта без взаимодействия с его веществом. Поэтому спектральный состав зеркально отражённого светового потока определяется в основном спектральным составом падающего светового потока.

При *диффузном* отражении (рис. 1.4.1–б), характерном для матовых поверхностей объектов, световой поток отражается равномерно во всех направлениях. В этом случае падающий световой

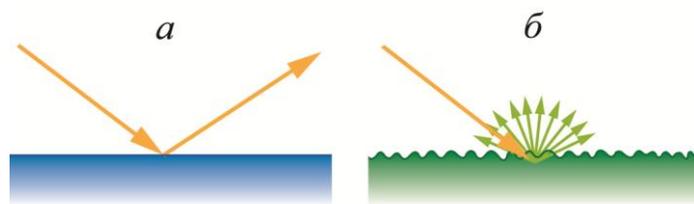


Рис. 1.4.1. Виды отражения света: а – зеркальное; б – диффузное

поток взаимодействует с веществом внутренних элементов объекта – происходит спектрально избирательное поглощение света, а оставшаяся непоглощённая часть потока рассеивается веществом объекта, создавая отражённый световой поток с изменённым спектральным составом. Таким образом, спектр

диффузно отражённого светового потока определяется спектральным составом источника света и способностью спектрально избирательного отражения света объектом.

Для природных объектов характерно *смешанное отражение* с преобладанием зеркального или диффузного. Кроме того, соотношение разных отражений от одного и того же объекта может сильно меняться в зависимости от расположения источника света и точки наблюдения.

Отражённый световой поток создаёт образ объекта, воспринимаемый зрением и регистрируемый фотографией. Мощность светового потока определяет видимую яркость объекта, спектральный состав – цвет объекта, а различия в яркости и спектральном составе светового потока, поступающего от разных объектов, создают яркостной и цветовой контраст, благодаря которому появляется возможность различения объектов.

Спектральное распределение яркости светового потока воспринимается зрением в виде *цвета*. В отличие от спектрального состава света, цвет не существует вне восприятия его человеком. Индивидуальные особенности восприятия цвета в норме имеют значительную схожесть у большинства людей, что позволяет путём статистических исследований в определённой степени формализовать описания цветовых ощущений.

Цветовое ощущение человека определяется физиологическими и психологическими особенностями зрения. Согласно трёхкомпонентной теории цветового зрения, разработанной Гельмголь-

цем, сетчатка глаза содержит три вида светочувствительных рецепторов, имеющих максимумы чувствительности в коротко-, средне- и длинноволновой частях спектра видимого света и создающих при восприятии света ощущение синего, зелёного или красного цвета соответственно. Различие в уровнях сигналов, поступающих в мозг от трёх видов цветковых рецепторов при восприятии света, формирует ощущение цвета. Если уровни сигналов оказываются одинаковыми, то ощущения цвета не возникает и такой свет воспринимается нейтрально белым. Любой цвет можно представить в трёхмерной ортогональной системе цветковых координат, образуемой тремя цветковыми компонентами, соответствующими трём видам цветковых рецепторов. По первым буквам англоязычных названий цветковых компонент (*red, green, blue*) трёхкомпонентная цветовая система координат часто называется системой *RGB*.

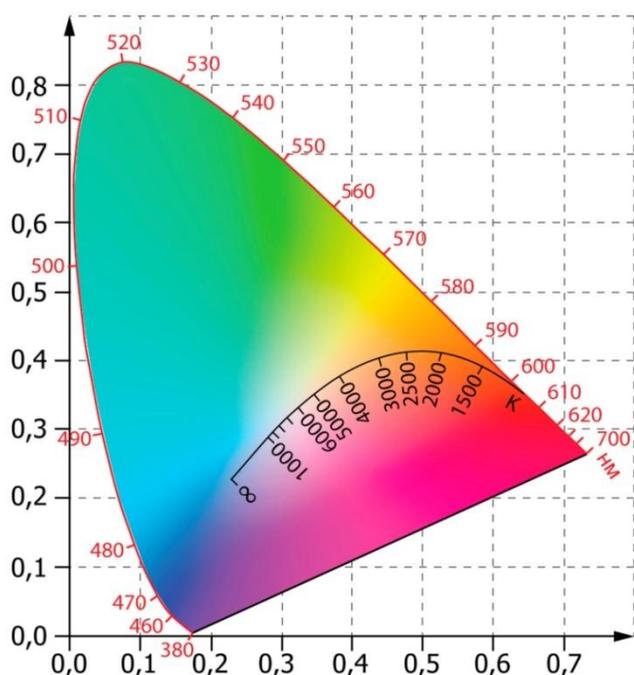


Рис. 1.4.2. Диаграмма цветности CIE

цветности CIE (рис. 1.4.2). Диаграмма цветности отображает цветовое пространство зрения в условной системе цветковых координат. Красная огибающая кривая соответствует спектральным цветам стандартного источника дневного освещения. Чёрная кривая – цветовой температуре абсолютно чёрного тела. Трёхкомпонентные цветовые системы, использовавшиеся CIE в ходе экспериментов, послужили основой для разработки производных цветковых систем *CIE L*a*b**, *CIE XYZ* и др., адаптированных для использования в разных прикладных областях, связанных с регистрацией и воспроизведением цвета (в фотографии, полиграфии, приборостроении, обработке изображений и т. д.).

Технические устройства, используемые для регистрации и воспроизведения цвета, в том числе цифровые фотоаппараты, мониторы, сканеры, принтеры не способны целиком воспроизвести цве-

динат часто называется системой *RGB*.

Модель представления цвета, основанную на использовании цветовой системы координат, принято называть *цветовым пространством*. Как уже упоминалось, цвет не существует вне восприятия человека, поэтому цветовое пространство не простирается в бесконечность, а ограничено областью, включающей в себя только те цвета, которые в состоянии воспринять зрение человека. Область цветового восприятия была экспериментально определена в ходе исследований, проведённых в 1930-х годах Международной комиссией по освещению (*Commission International de l'Éclairage, CIE*), и для наглядности обычно отображается в виде двумерной диаграммы, известной как диаграмма

товое пространство, ограничиваясь некоторой его областью, называемой *цветовым охватом устройства*. Для учёта особенностей цветопередачи устройств и при необходимости правильного воспроизведения цвета, полученного одним устройством, на другом устройстве, в том числе для отображения цифрового снимка на мониторе или выводе его на печать, устройствам присваивают *цветовые профили*, описывающие цветовой охват устройства в цветовой системе координат *CIE L*a*b** или *CIE XYZ*. Стандарт цветового профиля определён Международным консорциумом по цвету (*International Color Consortium, ICC*). Цветовые профили стандарта *ICC* поставляются вместе с устройством, но могут быть получены и по результатам его цветовой калибровки.

Цифровые фотоснимки предназначены в конечном итоге для вывода на различные устройства и просмотра. Чтобы учесть различия в цветовых охватах устройств – фотоаппаратов, мониторов, фотопечати, снимки представляют в цветовых пространствах, имеющих уменьшенный цветовой охват. При преобразовании цвета, выходящие за пределы охвата, заменяют на близкие к ним.

1.5. Построение оптического изображения. Объектив фотоаппарата

Фотографический объектив предназначен для получения оптического изображения объекта съёмки. Объектив собирает световой поток, приходящий от объекта съёмки, и проецирует получающееся оптическое изображение объекта на светочувствительную матрицу фотоаппарата.

Основные принципы построения изображения объективом могут быть объяснены законами геометрической оптики – независимым прямолинейным распространением световых лучей, их преломлением и сложением. Геометрическая оптика даёт представление о принципах построения изображения идеальной оптической системой и объясняет возникновение aberrаций – практически неизбежных искажений изображения, характерных для реальных оптических систем.

Принципиальная схема объектива фотоаппарата (рис. 1.5.1) показывает расположение его оптических элементов и формируемый ими ход световых лучей, создающих оптическое изображение. Серым контуром показана реальная оптическая система, заменяемая преломляющей плоскостью. Н – условная преломляющая плоскость, заменяющая на схеме реальную оптическую систему; О – узловая точка объектива; F – его главный фокус; f – главное фокусное расстояние объектива; D-D – диафрагма, ограничивающая действующее отверстие объектива диаметром d .

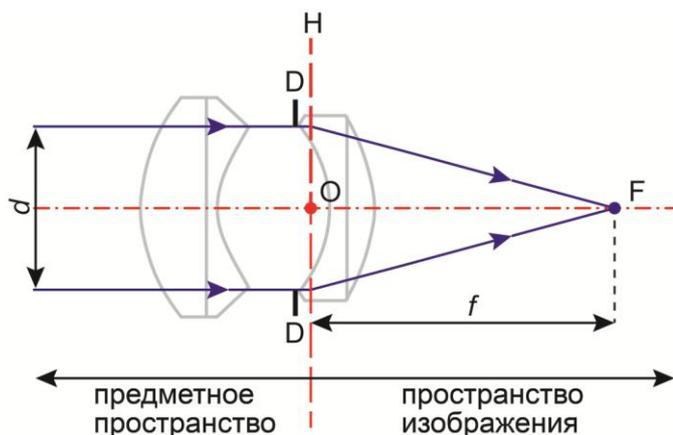


Рис. 1.5.1. Принципиальная схема объектива

Рис. 1.5.1. Принципиальная схема объектива

Применение законов оптики позволяет упростить построение принципиальной схемы объектива путём замены в ней оптических элементов условной преломляющей плоскостью Н, рассчитанной таким образом, что преломление световых лучей, пересекающих эту плоскость, создаёт такое же изображение, что и исходная оптическая система объектива. Таким образом, любая оптическая система, независимо от её сложности, может быть эквивалентно представлена более удобной для изучения условной принципиальной схемой. Пространство перед преломляющей плоскостью, представляющее собой область расположения всех точек, изображения которых можно получить объективом, называется *предметным пространством*, а пространство за преломляющей плоскостью, где располагаются полученные изображения этих точек, – *пространством изображения*. Условную преломляющую плоскость принято называть главной плоскостью объектива, а точку пересечения главной плоскости с оптической осью объектива О – его *главной* или *узловой точкой*. Световые лучи от бесконечно удалённого объекта, распространяющиеся параллельно его оптической оси, пройдя через объектив, собираются в точке F, которая называется *главным фокусом* объектива. Расстояние f между главной точкой объектива О и его главным фокусом F называется *главным фокусным расстоянием*. *Относительным отверстием объектива* называют отношение диаметра действующего отверстия объектива d , ограничиваемого диафрагмой D-D, к главному фокусному расстоянию объектива. В фотографии величину относительного отверстия традиционно характеризуют значением соответствующего ему *диафрагменного числа*. Значение диафрагменного числа обратно значению относительного отверстия, оно равно отношению главного фокусного расстояния к диаметру отверстия объектива. Главное фокусное расстояние и относительное отверстие объектива являются основными параметрами, характеризующими его оптическую систему.

Рассмотрим основные случаи построения оптического изображения объективом. Для этого воспользуемся принципиальной схемой объектива, дополнив её расположением нескольких важных для данного рассмотрения плоскостей и условным изображением объекта съёмки (рис. 1.5.2).

Изображение бесконечно удалённого объекта строится объективом в плоскости Р, проходящей через его главный фокус и удалённой от преломляющей плоскости Н на расстояние f , равное фокусному расстоянию объектива (рис. 1.5.2-а). Плоскость Р2 расположена на двойном фокусном расстоянии от плоскости Н, а плоскости Р' и Р2' расположены в предметном пространстве симметрично плоскостям Р и Р2 соответственно на фокусном и двойном фокусном расстоянии от плоскости Н. При приближении объектива к объекту съёмки на конечное расстояние S, изображение строится объективом в пространстве изображения на расстоянии f_s , превышающем главное фокусное расстояние, а размер изображения увеличивается по мере уменьшения расстояния S (рис. 1.5.2-б). На расстоянии от объекта, равном двойному фокусному расстоянию, изображение строится на расстоянии S от плоскости Н, также равном двойному фокусному расстоянию.

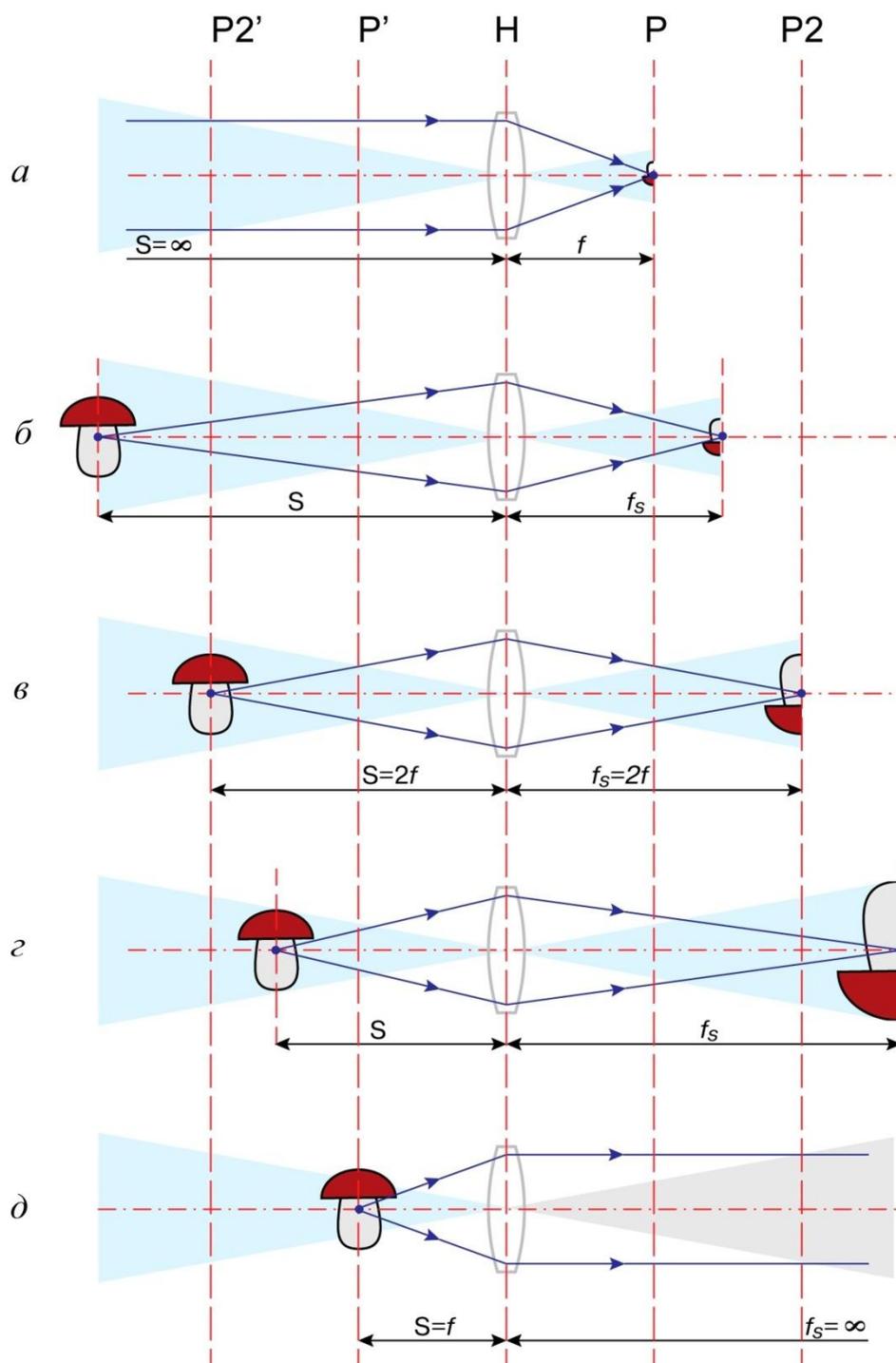


Рис. 1.5.2. Построение изображения оптической системой при разных отстояниях от объекта съёмки: а – объект на значительном отстоянии («в бесконечности»); б – объект приближен к объективу; в – расстояние до объекта равно двойному фокусному расстоянию объектива; г – расстояние до объекта, меньше двойного фокусного расстояния объектива; д – расстояние до объекта равно или меньше фокусного расстояния объектива; Н – преломляющая плоскость объектива; Р, Р' – фокальные плоскости; Р2, Р2' – плоскости двойных фокусных расстояний

При этом размер изображения сравнивается с размером объекта (рис. 1.5.2-в). При дальнейшем приближении к объекту его изображение продолжает увеличиваться (рис. 1.5.2-г), превосходя сам объект по размеру до тех пор, пока он не окажется на фокусном расстоянии от плоскости Н. На

расстоянии, равном или меньшем, чем фокусное расстояние объектива, построение изображения объективом становится невозможным (рис. 1.5.2-д).

Изображение объекта, расположенного на конечном расстоянии S , строится объективом в определённой плоскости, расположение которой определяется этим расстоянием (см. рис. 1.5.2-б). При необходимости регистрации изображения матрицей цифрового фотоаппарата производится фокусировка на объект – перемещением объектива вдоль направления его оптической оси производится совмещение плоскости P_s , в которой строится изображение объекта, с плоскостью матрицы (рис. 1.5.3-а). При этом световые лучи, поступающие от всех точек объекта, находящегося на дистанции фокусировки, сходясь, образуют резкое изображение всех точек этого объекта.

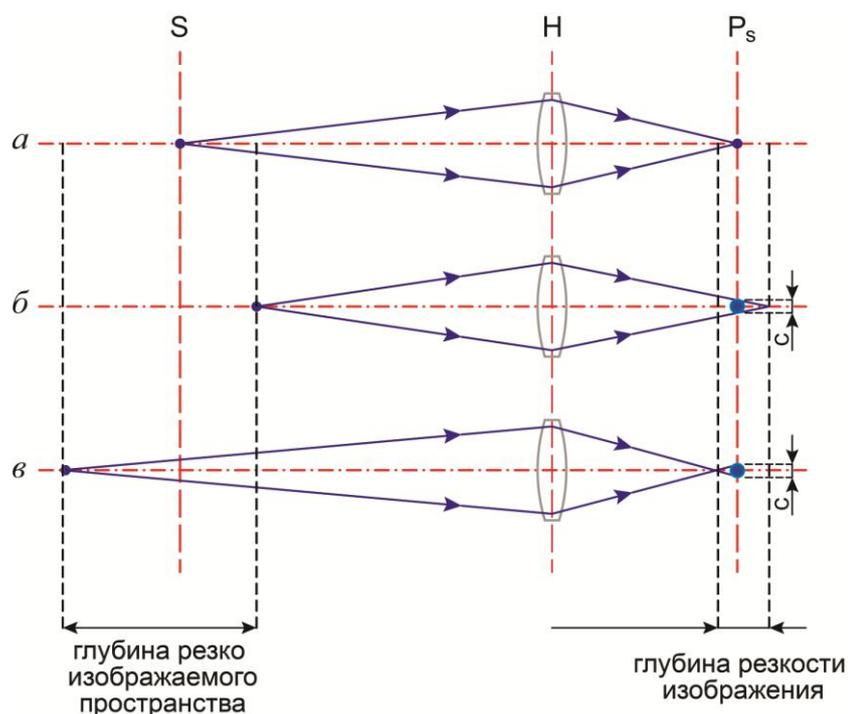


Рис. 1.5.3. Построение изображения точек объекта на разных отстояниях от плоскости фокусировки: а – резкое изображение точек объекта, находящегося на расстоянии фокусировки; б, в – изображение точек объекта, находящегося ближе или дальше расстояния фокусировки, в виде кружков нерезкости; Н – преломляющая плоскость объектива; S – расстояние фокусировки; P_s – расположение фокальной плоскости объектива при фокусировке на расстояние S

Световые лучи, поступающие от других объектов, находящихся на расстоянии, отличающемся от дистанции фокусировки, будут сходиться вне плоскости матрицы, образуя при пересечении с ней размытое пятно, называемое кружком нерезкости c (рис. 1.5.3-б,в). Из-за этого на изображении резко будут воспроизведены детали только тех объектов, которые при съёмке находились на дистанции фокусировки S . Диаметр кружка нерезкости определяется диаметром относительного отверстия объектива и отстоянием объекта от дистанции фокусировки. Если диаметр кружка нерезкости не превышает некоторого допустимого значения, зависящего от условий рассмотрения получившегося изображения, то изображение будет казаться резким. Ширина зоны пространства изображения, в пределах которой изображение объекта воспроизводится с допустимой резкостью, называется глубиной резкости изображения, а соответствующий ей интервал отстояний до объекта съёмки называется глубиной резко изображаемого пространства (ГРИП). Глубина резкости и, соответственно, ГРИП зависит от диаметра действующего отверстия объектива, фокусного расстоя-

ния объектива, расстояния до объекта, на который сфокусирован объектив, и от диаметра допустимого кружка нерезкости.

Допустимое значение диаметра кружка нерезкости c зависит от условий, при которых будет рассматриваться снимок:

$$c = \frac{D \cdot c_0}{D_0 \cdot Z} ,$$

где D – расстояние, с которого рассматривается изображение, D_0 – расстояние наилучшего зрения, c_0 – размер наименьшей детали изображения, различимый с расстояния наилучшего зрения, Z – увеличение изображения при просмотре.

Расстояние наилучшего зрения обычно принимается равным 25 см, а размер наименьшей детали – равным 0,2 мм. Если предположить, что снимок, сделанный цифровым фотоаппаратом, имеющим матрицу шириной 8 мм, будет отпечатан на листе шириной 30 см, то увеличение при печати составит 37,5 раз, и для просмотра с расстояния наилучшего зрения допустимый кружок нерезкости при съёмке должен быть принят равным $0,2/37,5$, т. е. около 0,005 мм.

В фотографии используют как точные, так и упрощённые формулы расчёта ближней и дальней границы резко изображаемого пространства. Точные формулы используются при расчётах таблиц глубины резкости:

$$R_{\text{ближ}} = \frac{S \cdot f^2}{f^2 + N \cdot (S - f) \cdot c} , \quad R_{\text{дальн}} = \frac{S \cdot f^2}{f^2 - N \cdot (S - f) \cdot c} ,$$

где $R_{\text{ближ}}$ и $R_{\text{дальн}}$ – ближняя и дальняя границы резко изображаемого пространства, S – дистанция фокусировки, f – главное фокусное расстояние объектива, N – диафрагменное число.

Из этих формул можно заметить, что ГРИП увеличивается при увеличении дистанции фокусировки, при уменьшении главного фокусного расстояния и относительного отверстия объектива, при увеличении диаметра допустимого кружка нерезкости.

В практических целях для определения ГРИП достаточно точности расчётов, основанных на знании гиперфокального расстояния объектива. *Гиперфокальным расстоянием H* называется расстояние от объектива, сфокусированного на бесконечность, до ближней границы резко изображаемого пространства. Оно зависит от фокусного расстояния объектива, величины относительного отверстия объектива и от допустимого диаметра кружка нерезкости:

$$H = \frac{f^2}{N \cdot c} ,$$

где f – главное фокусное расстояние объектива, N – диафрагменное число, c – диаметр допустимого кружка нерезкости.

Использование гиперфокального расстояния упрощает расчёт границ резко изображаемого пространства:

$$R_{\text{ближ}} = \frac{H \cdot S}{H + S}, \quad R_{\text{дальн}} = \frac{H \cdot S}{H - S},$$

где $R_{\text{ближ}}$ и $R_{\text{дальн}}$ – ближняя и дальняя границы резко изображаемого пространства, S – дистанция фокусировки.

При фокусировке объектива на гиперфокальное расстояние $R_{\text{ближ}}$ равна половине гиперфокального расстояния, а $R_{\text{дальн}}$ соответствует бесконечности. При дальнейшем увеличении дистанции фокусировки $R_{\text{ближ}}$ отодвигается от объектива, а $R_{\text{дальн}}$ продолжает соответствовать бесконечности – величина ГРИП уменьшается. Таким образом, для получения максимально возможной величины ГРИП объектив следует фокусировать на гиперфокальное расстояние.

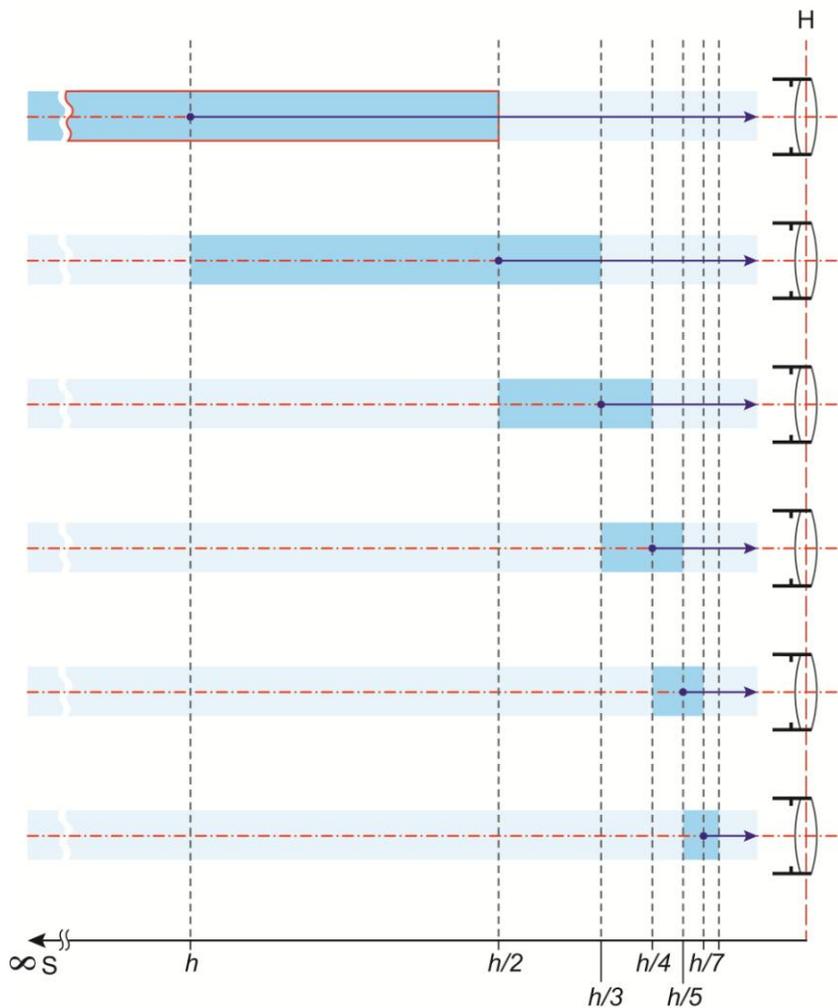
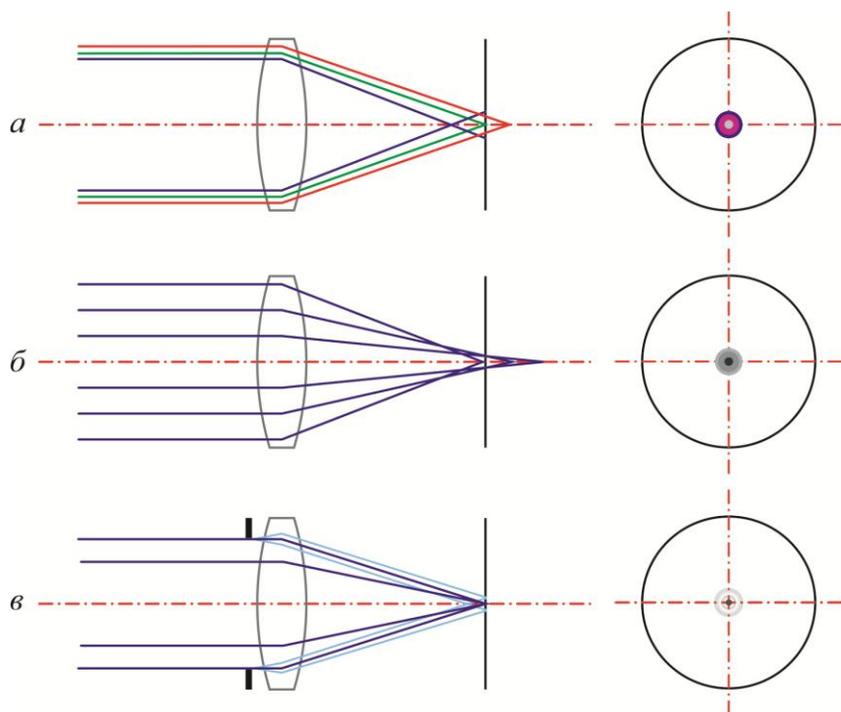


Рис. 1.5.4. Упрощенный способ определения ГРИП по гиперфокальному расстоянию

Существует простое правило быстрого приближённого определения ГРИП с использованием заранее вычисленного гиперфокального расстояния: необходимо построить последовательность расстояний, включив в неё бесконечность, гиперфокальное расстояние, половину гиперфокального расстояния, его треть, четверть, пятую, шестую, седьмую часть и т. д. Тогда при фокусировке на любое расстояние из полученной последовательности резко изображаемое пространство будет ограничиваться соседними этому расстоянию значениями последовательности. Например, при фокусировке на расстояние, равное 1/5 гиперфокального, глубина резкости будет простирается от 1/6 до 1/4 гиперфокального расстояния, а при фокусировке на гиперфокальное расстояние – от его половины до бесконечности (рис. 1.5.4).

При рассмотрении принципиальной схемы объектива и всех основанных на ней построений было сделано существенное допущение: предполагалось, что изображение строится идеальной оптической системой, способной изобразить каждую точку предметного пространства в виде единственной точки в пространстве изображения, сохраняя при этом геометрическое подобие объекта и его изображения. Такое допущение считается оправданным при изучении основных принципов работы оптических систем. Но для более полного понимания свойств оптических систем необходимо также рассмотреть свойства aberrаций – искажений изображения, возникающих при работе реальной оптической системы, и их влияние на качество получающегося изображения.



Существует несколько типов aberrаций оптического изображения. На рисунке 1.5.5 показано нарушение хода световых лучей, приводящее к возникновению различных типов aberrаций и характерный для них вид изображения точек объекта. Хроматическая aberrация вызывается различием в степени преломления лучей света с разной длиной волны, приводящим к разложению оптической системой спектрально неоднородного пучка света (рис. 1.5.5-а). Геометрические aberrации (различают несколько их видов) связаны с несогласованностью хода лучей, создающих изображение точки объекта при их прохождении на

Рис. 1.5.5. Возникновение aberrаций оптического изображения: а – хроматической; б – сферической (один из видов геометрической aberrации); в – дифракционной

разном расстоянии от оптической оси объектива (рис. 1.5.5-б). Хроматическая и геометрические aberrации в сравнительно большей степени создаются краевыми частями линз объектива и возрастают с увеличением размера его действующего отверстия.

Исключением является дисторсия – геометрическая aberrация, связанная с непостоянством линейного увеличения оптической системой различных частей изображения, приводящая к искажению подобия между объектом и его изображением (рис. 1.5.6). Величина дисторсии не изменяется при изменении размера действующего отверстия объектива.

Дифракционная aberrация объясняется волновой природой света – лучи света отклоняются при прохождении рядом с непропускающей свет преградой. Такой преградой в объективе является диафрагма, или оправа объектива при открытой диафрагме или при её конструктивном отсутствии

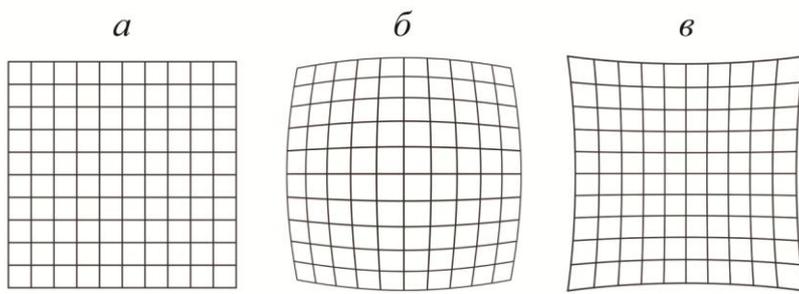


Рис. 1.5.6. Влияние дисторсии на изображение объекта съёмки: а – исходный объект съёмки; б – бочкообразная дисторсия изображения; в – подушкообразная дисторсия изображения

Дифракция затрагивает лишь небольшую область действующего отверстия объектива, сравнимую с длиной волны света. Дифракционная aberrация усиливается с уменьшением размера действующего отверстия объектива, и при малых его размерах влияет на качество изображения.

Аберрации приводят к уменьшению разрешающей силы объектива. *Разрешающей силой объектива* называют его способность раздельного воспроизведения близкорасположенных точек объекта. Наименьшее расстояние между точками, начиная с которого их изображение перестаёт быть раздельным, называют пределом разрешения объектива. В качестве количественной меры разрешающей силы объектива обычно используют величину, обратную пределу разрешения и определяемую как число пар линий на 1 мм изображения, при котором сохраняется их раздельное воспроизведение. Действие aberrаций обычно наименее заметно при средних значениях относительного отверстия объектива, в результате чего максимум разрешающей силы объектива достигается при умеренно прикрытой диафрагме. При открытии диафрагмы возрастает действие хроматической и геометрических aberrаций, а при закрытии – дифракционной aberrации (рис. 1.5.7).

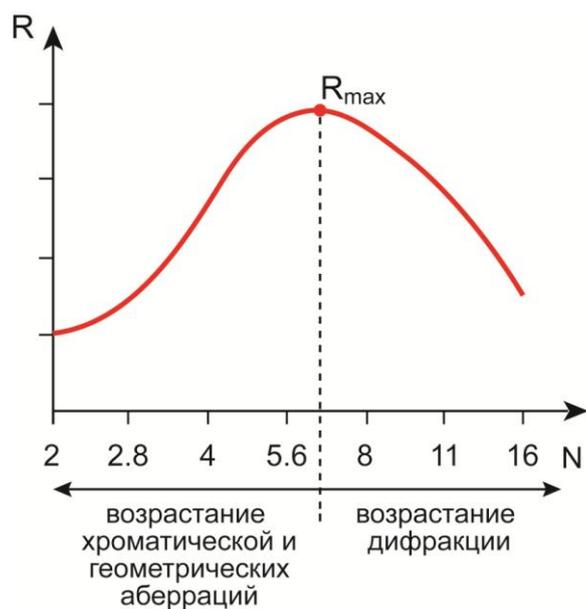


Рис. 1.5.7. Влияние aberrаций на разрешающую силу объектива

Любое изображение, построенное оптической системой, работа которой основывается на преломлении световых лучей, имеет aberrации. Сложные оптические системы позволяют лишь уменьшить некоторые искажения изображения до приемлемого уровня, достигая компромисса между проявлением различных типов aberrаций. Хроматическая aberrация и дисторсия сравнительно просто могут быть исправлены при цифровой обработке полученного изображения. Дифракционная aberrация, уменьшающая разрешающую силу объектива, не может быть устранена.

1.6. Регистрация изображения. Светочувствительная матрица фотоаппарата

Вторым по значимости компонентом съёмочной системы является приёмник излучения. Основная функция приёмника – регистрация яркостей оптического изображения, сформированного объективом. Технически эта задача в аналоговой и цифровой фотографии реализуется по-разному. В случае использования плёнки яркость оптического изображения преобразуется в почернение эмульсии, при использовании матрицы – в электрический заряд (рис. 1.6.1).

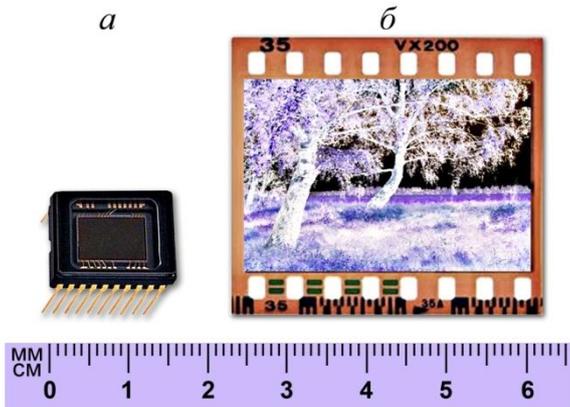


Рис. 1.6.1. Приёмники излучения: а – светочувствительная матрица; б – кадр фотографической плёнки

снабжается светофильтром.

Величина накопленного фотодиодами заряда зависит от экспозиции H , под которой понимают величину светового потока, упавшего на единицу площади поверхности приёмника за время его воздействия на эту поверхность:

$$H = Et,$$

где E – освещённость, t – время экспонирования (выдержка).

Чем больше освещённость поверхности матрицы и время, в течение которого она подвержена воздействию светового потока, тем больше величина экспозиции и выше уровень накопленного фотодиодами заряда. Эта зависимость отображается передаточной функцией матрицы (рис. 1.6.2).

На графике передаточной функции выделяются три характерных отрезка. Нижняя часть (1) графика функции соответствует уровню собственного шума матрицы. Природа шума объясняется тем, что даже неосвещённая матрица генерирует фоновый электри-

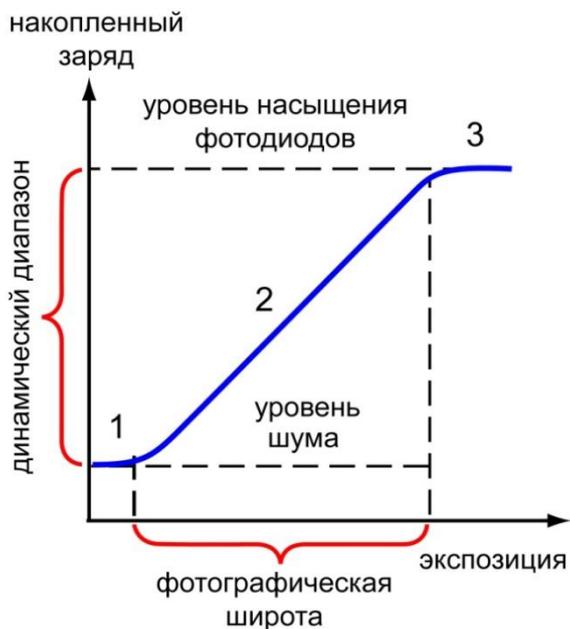


Рис. 1.6.2. Передаточная функция матрицы

ческий заряд. Для получения изображения объекта необходимо, чтобы значение экспозиции позволило превысить уровень фонового шума. По этому участку передаточной функции можно судить о светочувствительности матрицы. *Светочувствительность* характеризует восприимчивость матрицы к свету и определяется как величина экспозиции, при которой уровень заряда на приёмнике превышает уровень шума. Светочувствительность матриц принято выражать в единицах измерения светочувствительности *ISO (International Organization for Standardization)*. Стандартная чувствительность *ISO 100* позволяет снимать без вспышки при дневном свете.

Если в аналоговой фотографии для повышения величины *ISO* можно использовать плёнки с разной чувствительностью фотослоя, то в цифровой фотографии физически изменить светочувствительность матрицы нельзя. Тем не менее, в цифровых фотокамерах предусмотрена функция изменения значений светочувствительности посредством установки различных значений *ISO*. На самом деле в этом случае происходит не повышение светочувствительности, а усиление сигнала, в который преобразуется электрический заряд, считанный с фотодиода. Усиление сигнала увеличивает и уровень шума, который в той или иной степени проявляется на фотографии. Качество снимка в целом становится хуже, чем при номинальном значении чувствительности.

Верхняя часть (3) графика функции показывает уровень ёмкости отдельного фотодиода. После накопления им предельной величины электрического заряда его дальнейшее облучение не повлияет на изменения заряда. Это означает, что различия в яркости очень светлых объектов не будут зафиксированы, и на цифровой фотографии все они изобразятся белым цветом.

Линейная часть (2) графика функции соответствует участку передаточной функции, на котором изменение экспозиции приводит к пропорциональному изменению заряда фотодиодов. Она характеризует способность фотоприёмника регистрировать с одинаковой степенью контраста различия в яркостях объекта. Проекция прямолинейного участка характеристической кривой на ось экспозиций представляет собой характеристику, называемую *фотографической шириной*. Фотографическая ширина показывает предельное отношение яркостей (выраженное в уровнях экспозиции) объекта съёмки, которое данный фотоприёмник ещё способен передать без нелинейных искажений. Проекцию на ось графика, отражающую накопленный фотодиодом заряд, называют *динамическим диапазоном*. Динамический диапазон отражает диапазон уровней заряда от минимального, превышающего уровень шума, до максимального, который может быть зафиксирован фотодиодами матрицы.

Посмотрим, какое влияние на перечисленные свойства матрицы оказывают её параметры – *физический размер матрицы, используемая схема светофильтров, количество и размер ячеек матрицы*.

Физический размер матрицы. Известно, что крупноформатными камерами (с размером приёмника излучения 8×10 и более сантиметров) получают гораздо более качественные снимки. И

это понятно: чем больше приёмник светового излучения, тем больше масштаб оптического изображения и тем больше информации попадает в кадр. В аналоговой (плёночной) фотографии наиболее распространённым был размер кадра фотоаппарата 24×36 мм. Сейчас в цифровой фотографии таким размером отличаются «полнокадровые» матрицы дорогих профессиональных фотоаппаратов. У остальных, бытовых, фотоаппаратов он колеблется в среднем от 3×4 до 13×18 мм в зависимости от стоимости камеры.

Для обозначения физического размера матрицы используют так называемый *кроп-фактор* (K), который характеризует отношение диагонали плёночного кадра 24×36 мм (43,3 мм) к диагонали матрицы. У большинства бытовых камер $K > 1$ и может достигать 5–6. Это означает, что диагональ матрицы в 5–6 раз меньше, чем у кадра формата 24×36 мм, т. е. равна 8–7 мм.

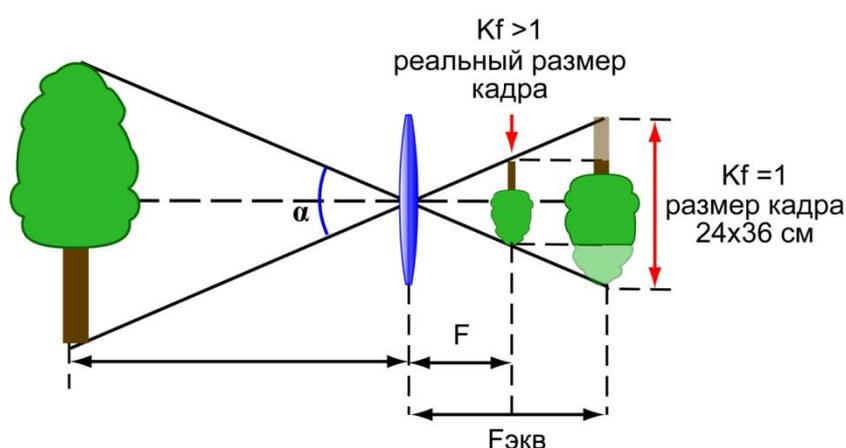


Рис. 1.6.3. Взаимосвязь размера матрицы, кроп-фактора, фокусного расстояния и эквивалентного фокусного расстояния объектива

Зная эквивалентное фокусное расстояние и фокусное расстояние объектива камеры, которые, как правило, указаны в спецификациях к фотоаппаратам, можно определить и размер матрицы. Например, если диапазон фокусных расстояний f колеблется от 7 до 21 мм, а диапазон эквивалентных фокусных расстояний $f_{экв}$ – от 35 до 105 мм, можно вычислить значения $K = 5$ ($35:7 = 5$ или $105:21 = 5$), а по нему и диагональ матрицы ($43,3:5 = 8,66$ мм).

Знание кроп-фактора необходимо и для установления истинного угла поля зрения объектива. Умножив фокусное расстояние объектива на значение кроп-фактора, можно получить эквивалентное фокусное расстояние а по нему – угол поля зрения объектива, аналогичный тому, что был бы у плёночной камеры. Таким образом можно определить для данной матрицы реальные фокусные расстояния, соответствующее углу поля зрения широкоугольного, стандартного или длиннофокусного объектива.

Схема светофильтров. Одним из важнейших показателей качества матрицы является её способность правильно передавать цвета снимаемых объектов. Для получения цветного цифрового снимка ячейки матрицы в соответствии с цветовой моделью RGB снабжены светофильтрами одного из первичных цветов: красного, зелёного, синего. Вследствие этого каждый фотодиод фикси-

Физический размер матрицы, кроп-фактор, фокусное расстояние и эквивалентное фокусное расстояние объектива – взаимосвязанные показатели (рис. 1.6.3).

Зная эквивалентное фокусное расстояние и фокусное расстояние объектива камеры, которые, как правило, указаны в спецификациях к фотоаппаратам, можно определить и размер матрицы. Например, если диапазон фокусных расстояний

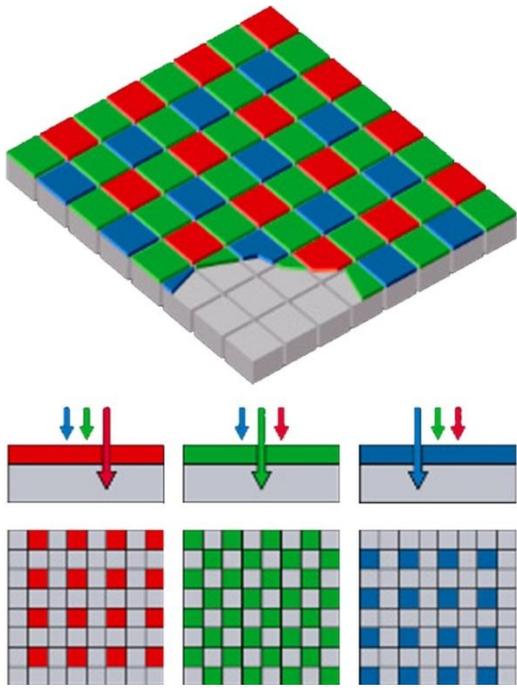


Рис. 1.6.4. Схема размещения светофильтров по шаблону Байера

рует яркость по одной из трёх цветовых компонент. Недостающие компоненты цвета для этого фотодиода рассчитываются процессором камеры на основании данных из соседних ячеек. Таким образом, каждому пикселу цифрового снимка присваиваются три значения яркости по компонентам R , G и B . Светофильтры располагаются по определённой схеме. Более широко распространена схема размещения светофильтров по шаблону Байера, когда светофильтры трёх основных цветов располагаются в порядке, указанном на рис. 1.6.4. Количество зелёных фильтров увеличено, исходя из преобладания этого цвета в природе.

Различные производители матриц могут использовать светофильтры с несколько другой спектральной чувствительностью, размещённые в соответствии с другими схемами. Поэтому цифровые снимки, полученные различными

фотокамерами даже при одинаковых условиях освещения и значениях экспозиционных параметров могут отличаться друг от друга цветопередачей.

Количество ячеек в матрице определяет информационную ёмкость изображения. Выраженная в мегапикселях (Мп), она показывает, на какое количество элементарных ячеек будет разделено оптическое изображение при переводе его в цифровую форму. Например, характеристика 12 Мп означает, что матрица состоит из $3000 \times 4000 = 12\,000\,000$ ячеек.

Размер ячейки матрицы (фотодиода) характеризует разрешение цифрового снимка. Казалось бы, чем меньше ячейка матрицы, тем больше детальность изображения. Однако при слишком маленьком размере ячейки на неё не попадает достаточное количество света, необходимое для получения качественного изображения. Ёмкость таких фотодиодов может быть слишком мала, что приводит к их быстрому переполнению. А это неизбежно приведёт к уменьшению динамического диапазона матрицы и потере детальности изображения. Наоборот, фотодиоды большего размера, обладающие большей ёмкостью, позволяют передать и больше градаций яркости.

Ещё одним показателем, напрямую не связанным с качеством изображения, является соотношение сторон кадра, которое в настоящее время может составлять 3:2; 4:3; 16:9. В отличие от плёночной фотографии в цифровых камерах имеется возможность изменения пропорций кадра в пределах, заданных производителем.

Суммируя вышесказанное, можно сделать вывод, что хорошая матрица отличается большим физическим размером, имеет больше образующих её ячеек и больший размер ячейки.

1.7. Оценка отражённого светового потока. Экспозиция

Экспозицией применительно к цифровой фотографии называется количество светового излучения, поступающее на светочувствительную матрицу во время регистрации оптического изображения. Величина экспозиции зависит от яркости объекта съёмки, величины выдержки и относительного отверстия объектива. Правильность выбранной экспозиции влияет на качество снимка. Недостаточная экспозиция (недодержка) приводит к потере деталей в тёмных частях изображения, а избыточная экспозиция (передержка) – в светлых частях изображения. Правильное определение экспозиции, зависящей от многих факторов – сюжета съёмки, погодных условий, применяемого дополнительного оборудования (светофильтров, фотовспышки) и многих других, – всегда считалось сложной задачей, и на приобретение необходимого опыта уходило немало времени. В настоящее время каждый цифровой фотоаппарат имеет автоматическую систему управления экспозицией, существенно облегчающую работу фотографа и позволяющую ему сосредоточиться на творческой стороне фотосъёмки. Тем не менее, для более полного использования возможностей фотоаппарата необходимо изучить особенности работы его автоматики на примере нескольких типичных сюжетов съёмки.

Работа экспозиционной автоматики цифрового фотоаппарата основана на замере яркости фотографируемого объекта и определении значений экспозиционных параметров, необходимых для создания правильной экспозиции при съёмке.

Экспонетрическая система цифрового фотоаппарата в зависимости от его модели может использовать несколько способов замера яркости объекта – центрально-взвешенный, точечный, частичный и матричный. При центрально-взвешенном замере область максимальной чувствительности занимает центральную область кадра, где предполагается расположение объекта съёмки. Этот режим используется, если сюжетно важна только центральная часть кадра, например, при портретной съёмке.

При точечном замере измеряется яркость небольшого фрагмента кадра, занимающего до 5% его площади. Экспонетр в этом режиме определяет правильную экспозицию по измерению яркости сравнительно небольших ключевых фрагментов кадра. Точечный замер используется в случае наличия в кадре сюжетно важных контрастных объектов.

Частичный замер в общем схож с точечным, отличаясь от него большей площадью замераемого фрагмента, доходящей до 15% площади кадра.

Матричный замер экспозиции основан на измерении яркости кадра по отдельным сегментам с последующим вычислением величины необходимой экспозиции на основе распознавания сюжета съёмки.

Управление экспозицией может проводиться в полностью автоматическом, полуавтоматическом или ручном режиме. В автоматическом режиме, также называемом программном, фотоаппа-

рат полностью управляет заданием экспозиционных параметров – выдержки, относительного отверстия, иногда и светочувствительности. К полуавтоматическим относятся режимы с приоритетом выдержки или диафрагмы. Фотограф задаёт значения приоритетного параметра съёмки, а фотоаппарат подстраивает остальные параметры для создания правильной экспозиции. В ручном режиме фотограф задаёт все экспозиционные параметры, используя экспонометр фотоаппарата лишь для оценки правильности экспозиции.

Правильность оценки экспозиции экспонометром не всегда означает её правильность с точки зрения фотографа. Автоматический экспонометр фотокамеры оценивает яркость объектов и определяет необходимую экспозицию кадра исходя из 18% отражательной способности поверхности объектов. Таким образом, белый объект в кадре воспринимается экспонометром как сильно освещённый серый, что приводит к занижению автоматически определяемой величины экспозиции. Для тёмного объекта в аналогичной ситуации экспозиция будет, соответственно, завышена. В таких случаях экспозицию можно исправить вводом экспозиционной поправки, измерением яркости по *серой карте* или определить экспозицию по освещённости объектов.

Экспозиционная поправка вводится в ступенях экспозиции с шагом в 1/2 или 1/3 ступени. Величина поправки в этом случае определяется «на глаз». Для более точного определения величины поправки можно использовать *серую карту* – специальный тест-объект, имеющий 18%-ную отражательную способность. *Серая карта* помещается в те же условия освещения, что и снимаемый объект, экспозиция определяется при точечном замере яркости серой карты.

1.8. Цифровая запись снимка. Форматы цифровых снимков

Получение цифрового снимка (цифровой записи изображения, построенного объективом на поверхности матрицы) представляет собой двухступенчатый процесс. Вначале с матрицы считывается массив данных о яркостях, зарегистрированный её элементами. Далее первоначальный массив данных может быть преобразован процессором фотоаппарата в цветное изображение и сохранён в виде файла, содержащего полученное изображение в распространённом формате, как правило, формате *JPEG* (аббревиатура названия организации-разработчика *Joint Photographic Experts Group*). Первоначальный массив данных может быть сохранён и без всякого преобразования в виде файла в формате *RAW* (от английского *raw* – *сырой, необработанный*). Во втором случае для получения изображения предполагается проводить компьютерную обработку сохранённого массива данных. После обработки полученное изображение также может быть сохранено в формате *JPEG* или каком-либо ином.

Таким образом, принципиальное различие между двумя путями получения изображения состоит в том, что в первом случае обработка ведётся в автоматическом режиме, без участия фотографа, а во втором случае фотограф может вмешаться в процесс обработки и, вероятно, добиться лучше-

го результата. Рассмотрим возможные положительные и отрицательные стороны каждого из двух подходов.

Получение готового цифрового снимка непосредственно при обработке процессором камеры происходит быстро, по отработанным алгоритмам, позволяющим получать хорошо выглядящие снимки, не тратя дополнительного времени на компьютерную обработку. Снимки сжаты и не занимают много места на цифровом носителе. Их можно сразу же просмотреть на экране монитора, распечатать или переслать по почте. Недостатком этого пути получения снимков может быть сложность исправления некоторых возможных ошибок съёмки – пересветов, недостаточной проработки теней, неправильного цветового баланса и других, если они не были замечены сразу и исправлены путём повторной съёмки.

При обработке данных съёмки, сохранённых в формате *RAW*, на компьютере появляется возможность провести тоновую коррекцию изображения, выставить нужный цветовой баланс, исправить или хотя бы уменьшить пересветы, выбрать степень шумоподавления, применить нужный цветовой профиль, в том числе полученный по результатам калибровки, исправить возможные дефекты изображения, связанные с недостатками объектива – дисторсией, виньетированием, хроматической аберрацией. Многие конвертеры формата *RAW* позволяют сохранять результат обработки в виде компактной записи сделанных настроек изображения, без сохранения самого преобразованного изображения, что позволяет сделать несколько вариантов обработки и сохранить их результат, не занимая много места на диске. Недостатком данного пути получения снимков может быть необходимость приобретения *RAW*-конвертера и необходимость траты времени на его освоение и последующую обработку изображений.

В качестве компромиссного решения можно воспользоваться имеющейся во многих фотоаппаратах возможностью одновременного сохранения снимков в форматах *RAW* и *JPEG* и прибегать к обработке *RAW* только в тех случаях, когда снимок, полученный в *JPEG* чем-то не устраивает.

1.9. Компьютерная обработка снимков для улучшения качества изображения

Основная задача фотосъёмки, которая выполняется в научно-исследовательских целях – добиться максимальной информативности и достоверности отображения на снимке исследуемого объекта. Однако в силу объективных причин получить требуемый результат удаётся не всегда. Устранить искажения и компенсировать потерю информации об объекте в определённой мере можно при последующей компьютерной обработке цифровых снимков.

Компьютерная обработка выполняется как для улучшения изобразительных свойств снимков, так и для получения новых изображений, например посредством монтажа или построения панорам. Программное обеспечение для обработки цифровых снимков относится к растровым графическим редакторам коммерческого, бесплатного и открытого распространения. Широко распро-

странены программы для каталогизации и просмотра снимков с различным набором функций редактирования (от весьма ограниченного до удовлетворительного). К ним можно отнести *ACDSee*, *Paint*, *FastStone Photo Resizer*, *FastStone Image* и др.). Однако наибольший интерес представляют программы, позволяющие выполнять обработку снимков на профессиональном уровне, такие, как *Adobe Photoshop* и *Adobe Lightroom*, свободно распространяемая *GIMP (GNU Image Manipulation Program)* и сопоставимый с ними по техническим возможностям пакет *Corel PHOTO-PAINT (Corel PaintShop Photo Pro)*. Эти программы позволяют работать со слоями, цветовыми каналами, масками, фильтрами, использовать файлы в *RAW*-формате, корректировать перспективные искажения и искажения, вносимые оптикой, выполнять яркостную и цветовую коррекцию снимков и другие полезные преобразования снимков для улучшения их качества.

Освоение растровых графических редакторов выходит за рамки пособия. Наша задача – обозначить основные виды коррекции снимка, которые при необходимости можно выполнить для улучшения качества изображения.

Перед началом компьютерной обработки следует наметить набор видов обработки и последовательность их применения. В процессе обработки рекомендуется сохранять как копию исходного снимка, так и копии результатов основных этапов обработки. Остановимся на основных видах компьютерной обработки наземных цифровых снимков и особенностях их реализации в программе *Adobe Photoshop*, в получившей наибольшее распространение её оригинальной (английской) версии.

Геометрическая коррекция

Геометрическая коррекция основывается на пересчёте по определённому алгоритму координат пикселей, в результате которого происходит их перемещение на другую позицию в пределах сетки строк и столбцов. При этом производится также пересчёт яркостей перемещаемых пикселей. Изображение на исправленном снимке выглядит так, как должен выглядеть снимок в центральной проекции, если бы он был получен без искажений, внесённых объективом, или ошибок, допущенных фотографом в ходе фотосъёмки. Основные виды геометрической коррекции – устранение искажений в результате дисторсии, исправление перспективных искажений, разворот снимка.

Устранение геометрических искажений в результате дисторсии. Такие искажения возникают при съёмке сверхширокоугольными объективами или объективами низкого качества и проявляются в том, что прямые линии на снимке выглядят выпуклыми или вогнутыми кривыми. Особенно хорошо это видно на снимках, сделанных объективом типа «рыбий глаз» и в случае, если широкоугольным объективом производилась съёмка объектов ближнего плана. Коррекция дисторсии в различных версиях программы *Adobe Photoshop* выполняется с использованием специальных опций. Одна из них – опция *Lens Correction (Filter→Distort→Lens Correction)*, которая на основе *EXIF*-информации снимка и дополнительных параметров, заданных пользователем, перестраивает

изображение так, что искажённые дисторсией линии отображаются на снимке прямыми (рис. 1.9.1).

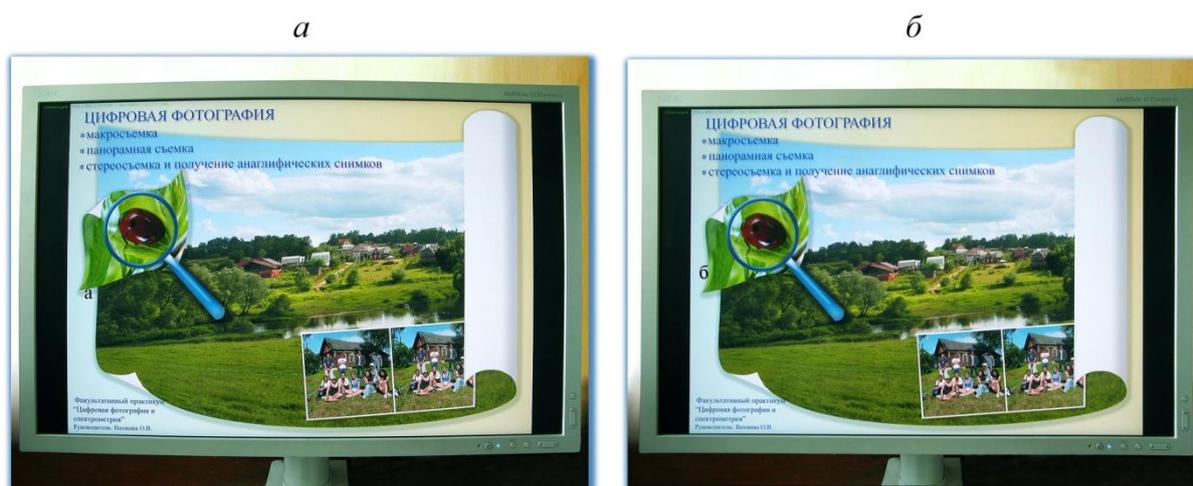


Рис. 1.9.1. Исправление искажений, вызванных дисторсией: а – исходный снимок; б – снимок после исправления искажений, вызванных дисторсией

Исправление перспективных искажений. Перспективные искажения особенно заметны на снимках, сделанных короткофокусными объективами. Если камера сильно наклонена вверх, масштаб изображения высокого объекта в верхней части снимка будет существенно меньше масштаба его нижней части, а объект будет выглядеть наклонённым назад. Усиленное впечатление перспективы возникает и в случае попадания в кадр горизонтально расположенного протяжённого объекта, если оптическая ось объектива ориентирована не перпендикулярно, а под острым углом к его длинной стороне. Преобразовать такие изображения можно используя соответствующие опции Filter→Distort→Lens Correction→Transform или Edit→Transform→Perspective (рис. 1.9.2).



Рис. 1.9.2. Исправление перспективных искажений: а – исходный снимок, б – снимок после исправления перспективных искажений

а



б



в



Рис. 1.9.3. Разворот и кадрирование снимка: а – исходный снимок, б – снимок после разворота, в – снимок после кадрирования

риферии попали случайные объекты, не содержащие полезной информации и отвлекающие от главного объекта. Для кадрирования можно использовать инструмент *Crop Tool* или сначала наметить рамки будущего кадра инструментом *Rectangular Marquee*, а затем обрезать снимок используя опцию *Image Crop* (рис. 1.9.3-в).

Разворот снимка. При непараллельности границы кадра линии горизонта возникает необходимость развернуть изображение. Существует два варианта выполнения этой операции. В первом случае (*Filter→Distort→Lens Correction→Engle* и *Edit→Transform→Rotate*) в соответствующем окне опции значение угла разворота снимка выбирают из предложенных или назначают произвольно. Во втором случае графически задают направление горизонтальной или вертикальной линии. Для этого на снимке выбирают объект, положение которого в кадре должно быть горизонтальным или вертикальным и, воспользовавшись инструментом «линейка» (*Ruler Tool*), проводят вдоль него линию. Затем выбирают опцию *Image→Rotate Canvas→Arbitrary*, которая разворачивает снимок так, чтобы заданное линейкой направление было строго горизонтальным или вертикальным, то есть совпало со строкой или столбцом снимка (рис. 1.9.3-а, б).

Кадрирование снимка. После выполнения некоторых операций в отдельных частях кадра появляются участки, не содержащие изображения. В этом случае выполняют кадрирование. Кадрирование рекомендуется выполнять и для улучшения композиции снимка, если во время съёмки не удалось создать сбалансированный сюжет с правильным расположением центра композиции или если в кадр по его периферии попали случайные объекты, не содержащие полезной информации и отвлекающие от главного объекта.

Яркостная коррекция

Яркостная коррекция выполняется как для исправления искажений, вносимых съёмочной системой, так и для улучшения изобразительных свойств снимка в случае, если условия освещения не позволили удовлетворительно отобразить снимаемый объект.

Коррекция виньетирования. Во время съёмки поступление в объектив потока лучей может ограничиваться из-за конструктивных особенностей объектива или в результате установки светофильтра, что приводит к виньетированию – падению освещённости изображения от центра к краю поля зрения объектива. Чтобы исправить возникающее при этом уменьшение яркости по краям снимка можно использовать опцию *Filter→Distort→Lens Correction→Vignette* (рис. 1.9.4).



Рис. 1.9.4. Коррекция виньетирования: а – исходный снимок, б – снимок после коррекции виньетирования

Коррекция хроматической аберрации. Искажения, вызванные хроматической аберрацией оптических систем, обусловлены различиями в угле преломления объективом лучей с разной длиной волны, соответствующих красному, зелёному и синему участкам спектра. По этой причине вместо одной светлой точки на снимке будет наблюдаться совокупность цветных кружков, а предметы больших размеров могут давать изображения с цветной каймой. В случае возникновения таких искажений можно воспользоваться опцией *Filter→Distort→Lens Correction→Chromatic Aberration* (рис. 1.9.5).



Рис. 1.9.5. Коррекция хроматической аберрации: а – исходный снимок, б – снимок после коррекции хроматической аберрации

Коррекция баланса белого. Не всегда вариант установки баланса белого, подобранный для данных условий освещения даёт удовлетворительный результат. Особенно в случае недостаточного освещения или освещения объекта несколькими различными источниками света. Если возникает ощущение искажённой передачи цветов, можно воспользоваться коррекцией баланса белого. Проверить субъективные ощущения можно, воспользовавшись инструментом «пипетка» (вариант *Color Sample Tool*). Этим инструментом на снимке выбирают участки, которые должны соответствовать белому, чёрному или нейтральному серому цвету. Цветовые компоненты *RGB* этих точек должны быть близки, соответственно для белого – 255, для чёрного – 0, для нейтрального серого – 128. Если полученные значения существенно отличаются, рекомендуется выполнить коррекцию баланса белого одним из нескольких способов. Последовательность действий и используемые опции могут различаться, но суть выполняемых операции останется схожей. Для выбранных ранее в качестве образцов «белого», «чёрного» и «нейтрального серого» пикселей подбираются правильные значения яркостей по компонентам *R*, *G*, *B*, в результате чего корректируются цвета и по всему снимку.

Один из таких способов – способ создания корректирующего слоя (кнопка *Create new fill or create layer* на панели слоёв). При создании слоя выбирают вариант *Levels*. В открывающемся окне с гистограммами распределения яркостей, используя один из трёх инструментов «пипетка», помечают на снимке участок, который должен соответствовать чёрному, белому или нейтральному серому цвету. В результате этих действий корректирующий слой будет содержать маску, которая позволит воспроизводить цвета, исправленные в соответствии с выбором оператора.

Улучшение цветопередачи выполняют, если коррекция баланса белого не даёт нужного результата. Тогда коррекцию цветовых составляющих выполняют, опираясь на свои собственные ощущения и цветопередачу используемого монитора. Самой простой является коррекция с использованием опции *Image→Adjustment→Auto Color* и *Image→Adjustment→Color Balance*. Другая опция *Image→Adjustment→Selective Color* позволяет выбрать один из цветов и изменить его, не затрагивая общий баланс фотоснимка. Тонкую корректировку можно выполнить, пользуясь опцией *Image→Adjustment→Curves*. Она позволяет изменить передаточные функции, отображающие зависимость между исходными и преобразованными яркостями, по отдельным цветовым компонентам (рис. 1.9.6).

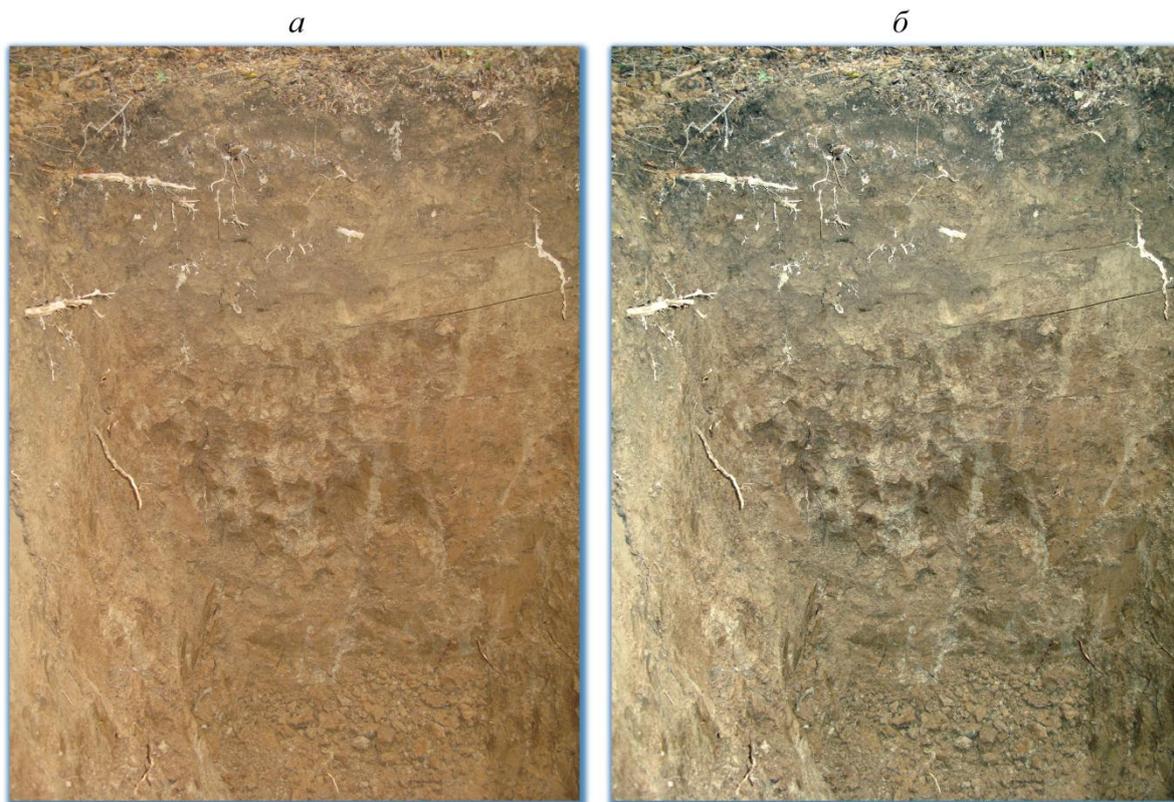


Рис. 1.9.6. Улучшение цветопередачи: а – исходный снимок, б – снимок после улучшения цветопередачи

Расширение тонового диапазона. При съёмке природных объектов освещённость не всегда бывает достаточной. Если при этом фотографом неправильно выбрана экспозиция, на снимке будут преобладать избыточно тёмные или светлые тона. Крайний случай такого снимка можно наблю-

дать на рис. 1.9.7-а. Исправить ситуацию в какой-то мере можно, искусственно расширив тоновой диапазон (рис. 1.9.7-б), в результате чего новая информация добавлена не будет, но улучшится визуальное восприятие снимка. Суть этой операции становится понятна, если взглянуть на гистограммы распределения яркостей до и после её выполнения. В результате интерполяции ограниченный интервал яркостей исходного снимка от минимального до максимального значения растягивается на 256 уровней. Выполнить такую операцию можно как в автоматическом режиме (*Image*→*Adjustments*→*Auto Levels*), так и вручную (*Image*→*Adjustments*→*Levels*).

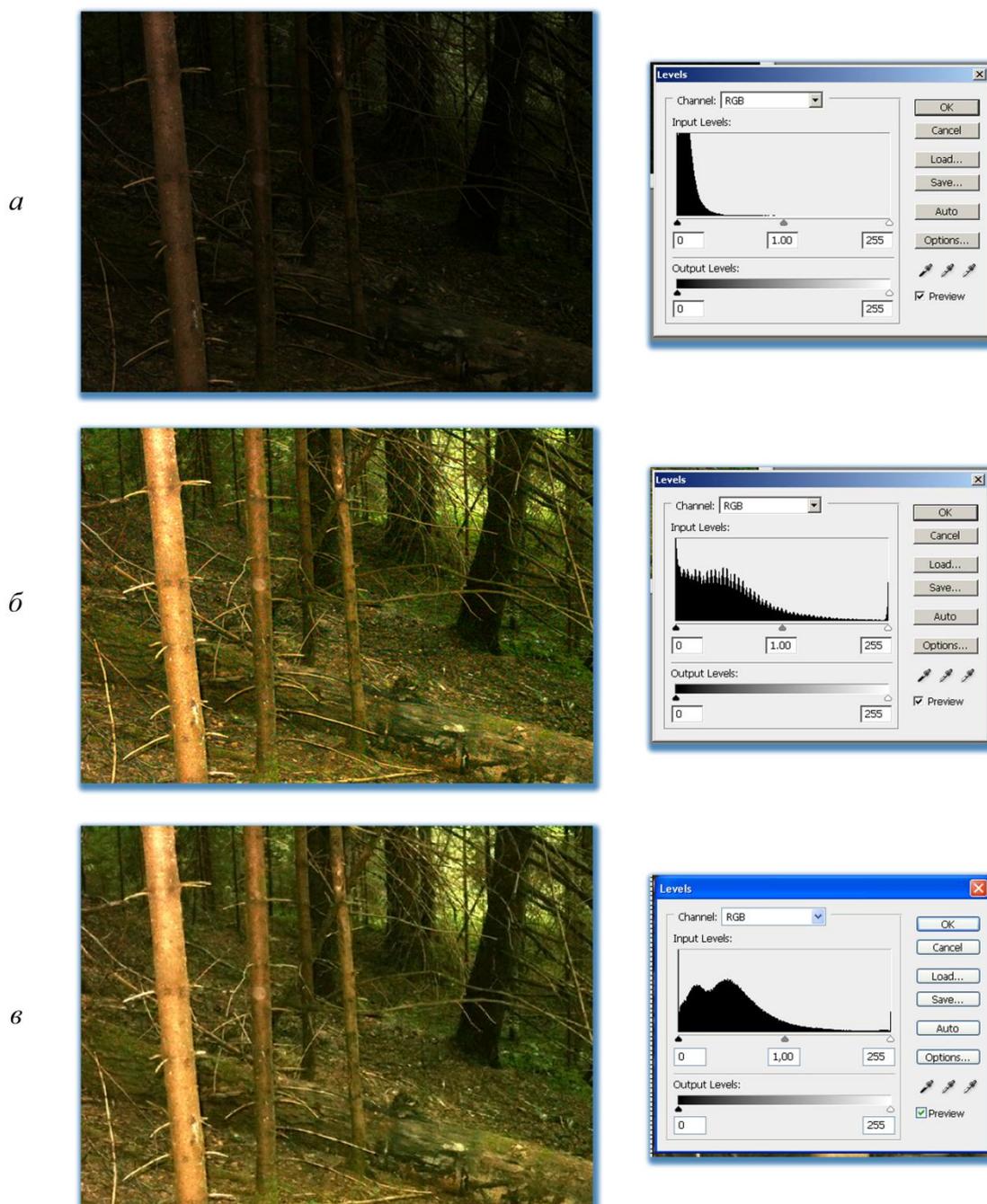


Рис. 1.9.7. Расширение тонового диапазона: а – исходный снимок, б – снимок после расширения тонового диапазона, в – снимок после коррекции “шума”

Реально расширить тоновой диапазон снимка можно путём создания так называемого *HDR* (*High Dynamic Range*) производного изображения на основе нескольких исходных снимков. Достаточно часто динамического диапазона матрицы не хватает для передачи с одинаковой детальностью всех градаций яркости наиболее освещённых и затенённых участков объекта.

В итоге на снимках хорошо отображаются либо освещённые, либо затенённые участки. Чтобы получить снимки с хорошей детальностью по всему тоновому диапазону, получают несколько снимков одного и того же участка с разной экспозицией, на которых хорошо проработаны освещённые или затенённые участки. Совмещая эти снимки программным способом, можно получить производный снимок с расширенным тоновым диапазоном (рис. 1.9.8). Для этого используют опцию *File→Automate→Merge to HDR*. Результат, полученный автоматически, можно редактировать в ручном режиме.

Фильтрация шумов. Фильтрацию шумов выполняют для снимков, которые были получены в условиях недостаточной освещённости, при вынужденном повышении чувствительности матрицы. Такие снимки отличаются сильным разбросом яркостей соседних пикселей, которые в действительности должны иметь близкие или одинаковые значения как интегральной, так и спектральной яркости. В этом случае поверхности, отличающиеся на местности одинаковым цветом, на снимке пестрят разными цветами. Чтобы сгладить разброс яркостей соседних пикселей и таким образом улучшить восприятие снимка, можно использовать, например опцию *Reduce Noise* (рис. 1.9.7-в).

Выборочная яркостная коррекция в отдельных областях снимка, использование масок. При съёмке природных объектов яркость различных частей объекта или фотографируемой территории может существенно различаться. Такая ситуация наблюдается, например, при съёмке в лесу в условиях освещения ярким полуденным солнцем, когда на снимке отображаются и ярко освещённые и сильно затенённые участки. Другой типичный пример – съёмка пейзажа, когда в кадр попадает изображение неба и поверхности земли. В этих случаях изображение объектов, по которым производился замер экспозиции, будет больше соответствовать оригиналу, отличаться более проработанными деталями. Объекты, сильно отличающиеся от них по яркости (освещённости), напротив, изобразятся с большой потерей детальности.

Такой снимок можно улучшить, используя локальные яркостные преобразования, когда все вышеописанные варианты яркостной коррекции выполняются не для всего снимка, а только для его части, которая выделяется на снимке масками различного типа.

Для создания масок можно использовать опцию *Edit in Quick Mask Mode*. Перейдя в режим работы с маской, можно не только отделить редактируемые участки снимка от нередактируемых, но и задать степень воздействия, которая регулируется прозрачностью маски.

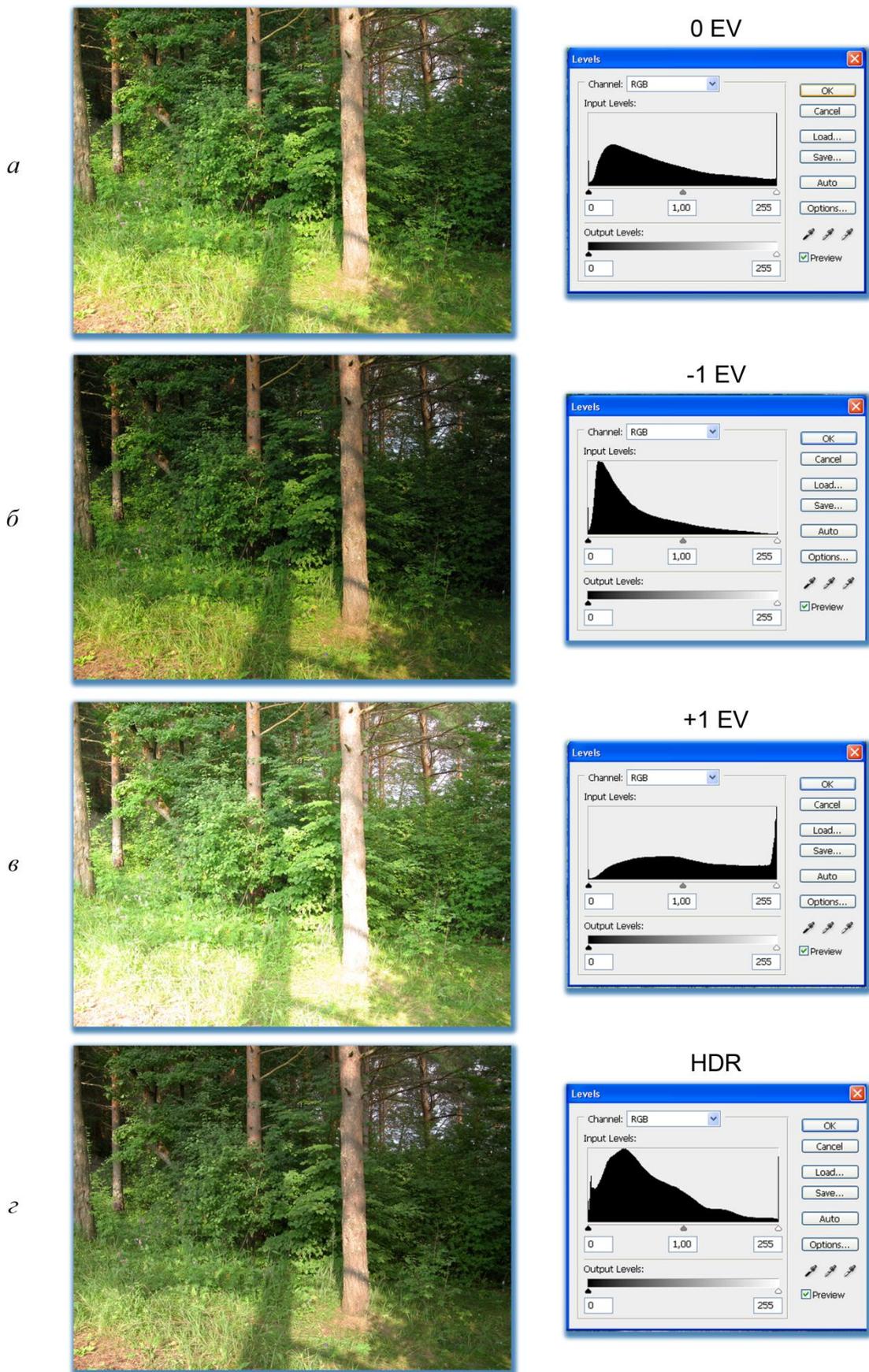


Рис. 1.9.8. Создание HDR снимков. Исходные снимки, полученные при: *a* – нормальной, *б* – недостаточной и *в* – избыточной экспозиции, *г* – производный HDR снимок

Если на снимке имеется несколько разрозненных участков, сильно различающихся по яркости, маску создают, пользуясь инструментом «кисть» (*Brush Tool*) с сильно размытыми краями (*Soft Round*), чтобы не создавать резких искусственных границ на изображении. Если требуется отредактировать постепенное изменение яркости, например как в классическом случае сюжета «земля-небо», для создания маски лучше использовать градиентную заливку (рис. 1.9.9). Помимо *Quick*



Рис. 1.9.9. Выборочная яркостная коррекция. Использование масок: а – исходный снимок, б – снимок с маской (слева – обычной, справа – градиентной), в – снимок после выборочной яркостной коррекции фрагментов, не закрытых маской

Mask Mode выборочную коррекцию можно проводить, создавая корректирующие слои, содержащие выделенные фрагменты изображения (опция *Add layer mask*).

Выборочная ретушь применяется в случае, если на изображении присутствуют случайные объекты, мешающие восприятию главного: капли дождя на объективе, электрические провода, другие объекты (рис. 1.9.10). Эту процедуру можно выполнить несколькими способами, среди которых, например «клонирование» изображения, для которого применяют инструмент *Clone Stamp Tool*. Инструментом *Clone Stamp* помечают изображение в окрестностях редактируемого фрагмента, ко-



Рис. 1.9.10. Выборочная ретушь: а – исходный снимок, б – снимок после выборочной ретуши

торое затем переносится («клонировается») на данный фрагмент. Размер и «прозрачность» переносимого участка регулируется пользователем.

Улучшение резкости изображения выполняется, если требуемой резкости изображения не удалось достичь из-за плохой фокусировки или смаза изображения. Компьютерные преобразования для улучшения резкости основаны на способах повышении локальных контрастов. В программе *Adobe Photoshop* повышение резкости выполняют, используя несколько видов фильтров *Sharpen*.

На макроснимках, для которых характерна небольшая глубина резкости, в непосредственной близости друг от друга могут наблюдаться зоны с резким и размытым изображением, соответствующие частям объекта, расположенным на разном расстоянии от объектива. В этом случае получить резкое изображение по всему полю снимка можно, соединив несколько снимков, полученных при разном (минимально различном) расстоянии от объекта. Соединение снимков (*Stacking Images*) выполняют в несколько этапов. Вначале (*File*→*Scripts*→*Load into Stack* с помеченной галочкой опцией *Attempt to Automatically Align Source Images*) из выбранных для соединения снимков формируют один с несколькими слоями. Затем создают новый слой (*Layer*→*New*→*Background from Layer* или *Layer From Background*) и, выделив все слои, выполняют операцию по слиянию слоёв (*Edit*→*Auto Blend Layers*, пометив в окне *Auto Blend Layers* опции *Stack Image Seamless Tones and Colors*). В ходе этой операции из каждого слоя программа выбирает зоны с

оптимальной резкостью изображения и проводит выравнивание снимка по границам этих зон. На выходе получают снимок с резким изображением по всему полю снимка.

Способы визуализации снимка

Цель всех компьютерных преобразований снимков – получение высококачественного изображения объекта для его последующего визуального анализа или измерений, в случае если фотосъёмка выполнялась в соответствии с определёнными правилами.

Для наблюдения снимка могут быть выбраны различные способы визуализации – на экране монитора, с использованием проектора или печати на бумаге. В каждом случае наблюдаемое изображение будет определённым образом отличаться как от изображений, соответствующих другому варианту визуализации снимка, так и от зрительного образа объекта, воспринимаемого человеком в момент съёмки.

Дело в том, что устройства, воспроизводящие цифровые снимки, имеют собственные цветовые палитры (цветовой охват) и по-разному отображают одни и те же цвета. Цветовые палитры принтеров, мониторов разных марок отличаются друг от друга. Чтобы обеспечить одинаковую цветопередачу для одного и того же цифрового снимка, подвергающегося обработке на разных устройствах, принята международная система *ICC* цветовых профилей. Цветовой профиль является своеобразным паспортом, прилагающимся к файлу с цветным изображением. При работе со снимком на том или ином устройстве (при выводе на экран монитора или при печати на принтере), компьютерная система управления цветом, используя цветовой профиль снимка, подправляет значения цветов, компенсируя особенности цветового охвата этих устройств. Профиль представляет собой матрицу преобразования цветов. Такие профили существуют для каждого цифрового фотоаппарата, монитора, принтера, сорта бумаги и чернил.

Помимо индивидуальных, разработаны и обобщённые стандартизированные профили, пригодные для любого типа аппаратуры, к которым относится профиль *sRGB*, отображающий цветовое пространство, соответствующее усреднённым параметрам мониторов разных типов. Хотя цветовой охват *sRGB* меньше цветового охвата большинства реальных *RGB* устройств, его использование обеспечивает гарантированное среднее качество изображения и защищает от слишком серьёзного понижения качества из-за сложностей, связанных с использованием множества индивидуальных профилей.

2. ФОТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

2.1. Цифровой фотоаппарат. Принципиальная схема устройства

Первым приспособлением, которое позволяло получить оптическое изображение объекта, была камера-обскура – закрытый ящик или тёмное помещение с отверстием малого диаметра в одной из

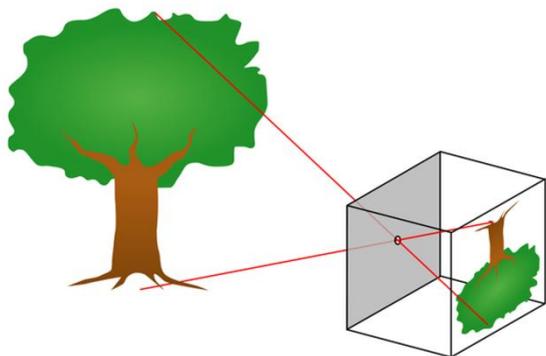


Рис. 2.1.1. Камера-обскура

стенок. Через это отверстие изображение проецировалось на противоположную стенку (рис. 2.1.1). Со временем устройство такого «съёмочного аппарата» совершенствовалось, но, как и прежде, основу его конструкции составлял корпус, внутренние перегородки которого образовывали светонепроницаемую камеру. На передней стенке корпуса теперь уже располагался объектив, на задней – приёмник излучения. Современный цифровой

фотоаппарат представляет собой сложное устройство, к основным узлам которого можно отнести объектив с диафрагмой, затвор, светочувствительную матрицу с аналого-цифровым преобразователем, управляющий процессор, видеоискатель, систему автофокусировки, устройство хранения данных (карта памяти) и др. (рис. 2.1.2).

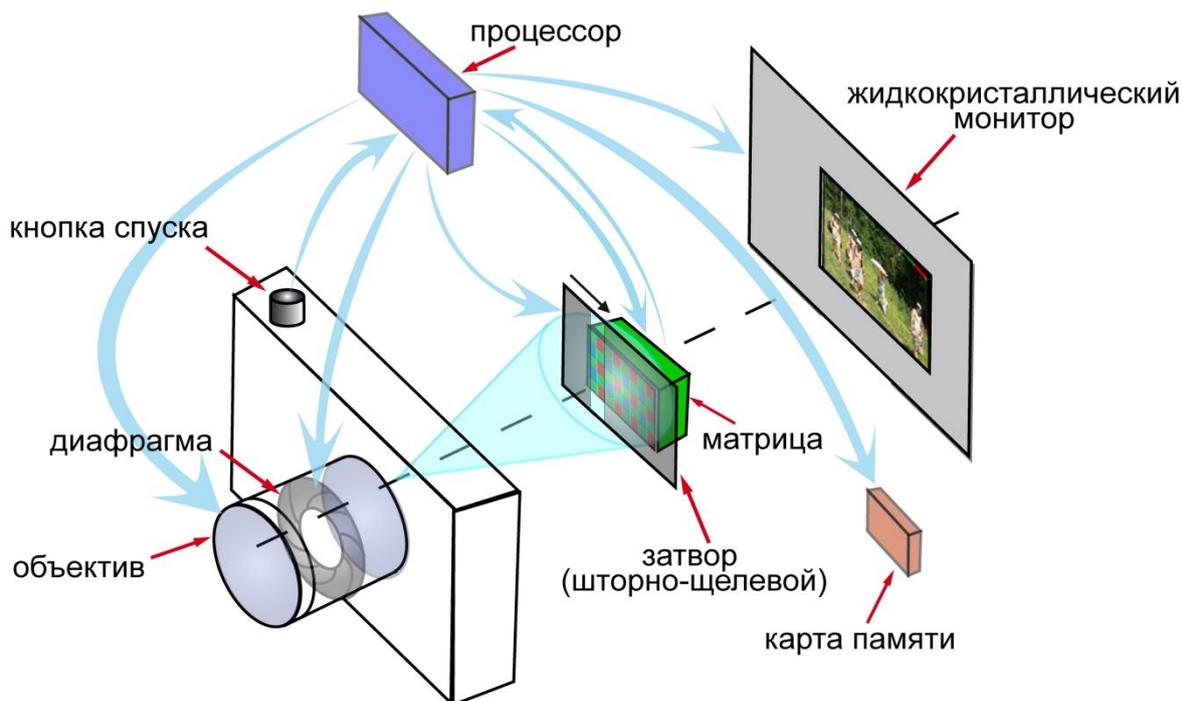


Рис. 2.1.2. Принципиальная схема устройства фотоаппарата

Объектив – один из главных элементов фотоаппарата. От его характеристик зависят особенности оптического изображения, которое он формирует на поверхности приёмника излучения и, как следствие, область его применения. К основным характеристикам объектива относятся *фокусное расстояние, угол поля зрения, светосила, максимальное относительное отверстие, разрешающая сила.*

Фокусное расстояние определяет масштаб изображения на снимке. При одном и том же расстоянии до объекта, масштаб изображения будет крупнее при увеличении фокусного расстояния. Примерный масштаб изображения можно вычислить по формуле

$$1/m = f/a ,$$

где f – фокусное расстояние камеры, a – расстояние до снимаемого объекта.

Величина фокусного расстояния указывается на оправе объектива. Обозначение $f = 50$ мм свидетельствует о том, что объектив имеет фокусное расстояние в 50 мм.

Значение фокусного расстояния влияет на такую важную характеристику объектива, как *угол поля зрения*, который определяет охват снимка, то есть то, что изобразится в кадре.

По углу поля зрения и фокусному расстоянию объективы делятся на условные группы. Поскольку размеры матриц у разных производителей фотоаппаратов различаются, для сохранения некоторого единообразия в классификации объективов угол поля зрения рассчитывается исходя из значения не реального, а эквивалентного фокусного расстояния и диагонали кадра плёнки размером 24×36 мм (см. раздел 1.4 и 1.6). На основе таких расчётов выделяют следующие группы объективов (рис. 2.1.3).

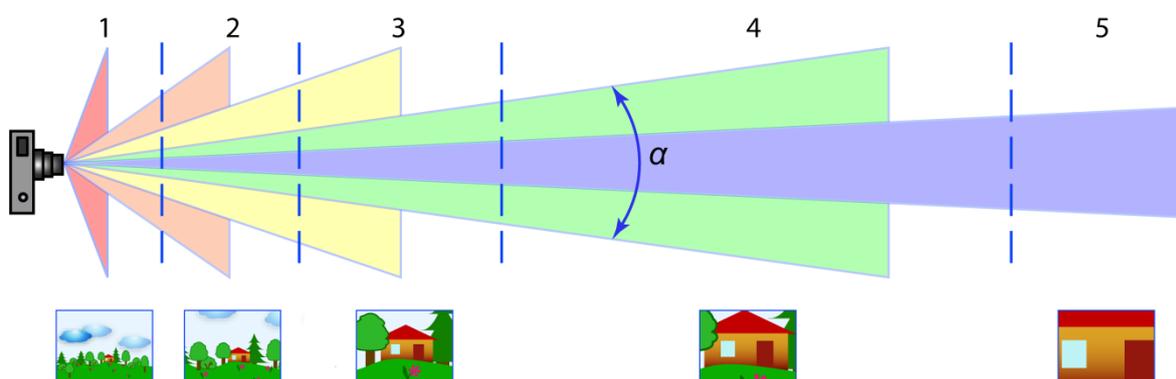


Рис. 2.1.3. Группы объективов в зависимости от угла поля зрения и фокусного расстояния объектива: 1 – сверхширокоугольные ($\alpha = 130\text{--}180^\circ$, $f_{\text{экв}} \leq 10$ мм); 2 – широкоугольные ($\alpha = 50\text{--}95^\circ$, $f_{\text{экв}} = 20\text{--}45$ мм); 3 – нормальные ($\alpha = 45\text{--}55^\circ$, $f_{\text{экв}} = 40\text{--}55$ мм); 4 – длиннофокусные ($\alpha = \text{до } 12\text{--}30^\circ$, $f_{\text{экв}} = 80\text{--}200$ мм); 5 – сверхдлиннофокусные ($\alpha < 12^\circ$, $f_{\text{экв}} > 200$ мм)

У *сверхширокоугольных короткофокусных* объективов типа «рыбий глаз» угол поля зрения составляет более $130\text{--}180^\circ$, а $f_{\text{экв}} \leq 10$ мм. Такие объективы применяются при съёмке панорам и отличаются большими перспективными искажениями.

Объективы, называемые *широкоугольными короткофокусными*, – с углом поля зрения от 50 до 95° и эквивалентным фокусным расстоянием $f_{\text{экв}} = 20\text{--}45$ мм. Например, объектив с фокусным расстоянием 18 мм имеет угол поля зрения около 90° . Такие объективы предназначены преимущественно для съёмки пейзажей. При наличии в кадре объектов среднего и ближнего плана за счёт существенных различий в их масштабах эти объективы создают ощущение глубины пространства, перспективы. Однако при съёмке объектов ближнего плана они дают искажения форм объектов. В этом легко убедиться, сделав фотопортрет крупным планом с использованием короткофокусного и портретного объективов.

«Нормальные» объективы, эквивалентное фокусное расстояние которых приблизительно равно диагонали кадра, имеют угол поля зрения порядка $45\text{--}55^\circ$, $f_{\text{экв}} = 40\text{--}55$ мм. Снятое таким объективом изображение более всего соответствует визуальному образу, наблюдаемому человеком и отличается более естественной передачей перспективы. Считается, что такой угол поля зрения нормальных объективов удобен для съёмок объектов как ближнего, так и дальнего плана.

К *длиннофокусным* относятся объективы, величина фокусного расстояния которых превышает величину диагонали фотоприёмника (матрицы) в $1,5$ раза и более. Длиннофокусные объективы имеют $f = 80\text{--}200$ мм и небольшой угол поля зрения ($12\text{--}30^\circ$), телеобъективы – фокусное расстояние более 200 мм и углы поля зрения менее 5° . Их главное назначение – съёмка удалённых объектов крупным планом. Съёмка такими объективами требует коротких выдержек и максимально открытой диафрагмы, а глубина резкости изображения очень мала.

Сверхдлиннофокусные объективы характеризуются значением $f > 200$ мм и углом поля зрения менее 12° . Они отличаются большим весом, сложностью конструкции, требуют применения штативов особой устойчивости, имеют ограниченную область применения и используются также для съёмки сверхудалённых объектов небольшого размера крупным планом, например при съёмке птиц.

Ещё одна категория объективов – *макрообъективы*. Они обладают минимальной дистанцией фокусировки (около 5 см), хотя диапазон фокусных расстояний этих объективов довольно широк от 30 до 300 мм. Такие объективы способны снимать в масштабе $1:1$. Макрообъективы часто имеют маркировку «*macro*» или «*micro*» и отличаются особой конструкцией оправы, позволяющей фокусироваться на небольшом расстоянии от объектива.

Фокусное расстояние оказывает влияние на ещё одну характеристику объектива – светосилу.

Светосила объектива характеризует его способность влиять на освещённость приёмника излучения. Она зависит, прежде всего, от величины *действующего отверстия объектива*, под которым понимают регулируемое диафрагмой отверстие, пропускающее световой поток, падающий на приёмник излучения. Чем больше это отверстие, тем больше освещённость приёмника и, следовательно, светосила объектива.

На освещённость приёмника излучения влияет и величина фокусного расстояния объектива. Чем оно больше, тем хуже он будет освещён. Чтобы учесть влияние на освещённость приёмника излучения двух этих факторов – величины действующего отверстия и фокусного расстояния объектива, – используют величину *относительного отверстия объектива*, которое выражается в виде дроби, показывающей отношение диаметра действующего отверстия к главному фокусному расстоянию. Например, запись $1/4$ или по-другому $f/4$, показывает, что диаметр действующего отверстия объектива в 4 раза меньше его фокусного расстояния. Чем меньше знаменатель дроби, тем больше светосила объектива (тем больше освещённость фокальной плоскости). При сравнении двух объективов с относительными отверстиями $1/2,8$ и $1/4$ можно сказать, что объектив с относительным отверстием $1/2,8$ способен пропустить в два раза больше света, чем объектив с относительным отверстием $1/4$.

Разрешающая сила показывает, детали какого размера могут быть изображены данным объективом раздельно. Она зависит от качества объектива, уменьшается от центра к краям объектива и выражается в линиях на мм (л/мм или мм^{-1}). Например, 50 мм^{-1} означает, что объектив может сформировать изображение, на котором в пределах 1 мм раздельно изображаются попеременно 50 чёрных и 50 белых параллельных линий. Толщина каждой линии составит, соответственно, 0,01 мм.

В качестве дополнительной характеристики объективов следует упомянуть *минимальную дистанцию фокусировки*, то есть расстояние, на котором ещё можно получить чёткое изображение. Эта характеристика определяется конструкцией оправы и фокусным расстоянием объектива и может составлять от 1 до 50 см. Она важна для съёмки с близкого расстояния или макросъёмки.

Объективы различаются и по ряду других конструктивных особенностей, позволяющих разделить их на следующие группы.

По типу крепления к корпусу фотоаппарата объективы делятся на *встроенные* и *сменные*. *Встроенные* в фотоаппарат объективы не отсоединяются от корпуса, составляя единый оптико-электронный блок с матрицей. Такие фотоаппараты часто имеют складную компактную конструкцию, которая позволяет убирать объектив в корпус фотоаппарата, поэтому их называют компактными. *Сменные* объективы имеют присоединительную резьбу или замковый (байонетный) узел для крепления к корпусу фотоаппарата.

По механизму фокусировки объективы бывают с *ручной фокусировкой* и *автофокусные*. Последние позволяют устанавливать фокус вручную, но кроме этого имеют ещё и систему фокусировки, приводимую в действие процессором фотоаппарата в зависимости от сигнала, идущего от датчика фокусировки. Существуют объективы с фиксированной фокусировкой на гиперфокальное расстояние, позволяющие получать резкие изображения с расстояния от нескольких метров до бесконечности. Такие объективы часто используются в фотокамерах мобильных телефонов.

В зависимости от изменяемости фокусного расстояния различают объективы с постоянным или переменным фокусным расстоянием. Объективы с *постоянным фокусным расстоянием* обеспечивают более высокое качество изображения, но предназначены для более узконаправленного применения, например для съёмки пейзажей, требующих широкого угла обзора. Объективы с *переменным фокусным расстоянием*, иначе называемые вариообъективами или зум-объективами, уступают им в качестве изображения, но зато обеспечивают большую вариативность в выборе угла поля зрения, совмещая в себе возможности нескольких объективов с постоянными фокусными расстояниями. Такие объективы могут применяться для съёмки сюжетов как ближнего, так и дальнего плана, а также для съёмки крупным планом удалённых объектов и съёмки с близкого расстояния.

В зависимости от способности линейной передачи перспективы (закономерности формирования изображения) различают *ортогональные* (ортоскопические) и *неортогональные объективы*. *Ортогональные* – самый распространённый тип объективов, изображение которым создаётся в центральной проекции по законам линейной перспективы. *Неортогональные* – специальные типы объективов со сверхшироким углом поля зрения, при котором изображение строится с сильным искажением линейной перспективы по периферийной части поля зрения объектива. Эти объективы, имеющие угол поля зрения 180 градусов, так называемые объективы «рыбий глаз» («Fisheye»), используются для получения обзорных снимков и панорам.



Рис. 2.1.4. Специальные виды объективов: а – шифт-объектив, б – тилт-шифт-объектив, в – сверхширокоугольный объектив «рыбий глаз»

В отдельную группу можно выделить *объективы с регулируемой перспективой* – «шифт» и «тилт-шифт» объективы. Эти объективы позволяют проводить сдвиг («шифт» объектив) или сдвиг и наклон одновременно («тилт-шифт» объектив) линзового блока и таким образом не допускать перспективных искажений, неизбежных при съёмке протяжённых объектов с близкого расстояния обычным объективом (рис. 2.1.4).

Диафрагма – ещё один важный конструктивный элемент фотоаппарата – устройство, меняющее размер действующего отверстия объектива. Её основное назначение – регулировка светового потока, попадающего на матрицу для получения правильной экспозиции.

Диафрагма представляет собой непрозрачную перегородку с отверстием, аппроксимирующим круг, центр которого совпадает с оптической осью объектива. Располагается диафрагма обычно внутри объектива и может иметь несколько вариантов конструкции, из которых наиболее распространённым является ирисовый. Ирисовая диафрагма состоит из нескольких лепестков и позволяет менять размер отверстия.

Размер отверстия диафрагмы меняется не непрерывно, а по ступеням, которые характеризуются значениями *относительного отверстия объектива*. Эти значения указываются в виде дроби. Стандартный ряд значений относительных отверстий: 1/1; 1/1,4; 1/2; 1/2,8; 1/4; 1/5,6; 1/8; 1/11; 1/16; 1/22; 1/32; 1/45; 1/64. Переход на одну ступень этого ряда связан с изменением площади отверстия диафрагмы и освещённости приёмника излучения (матрицы) в два раза. Знаменатель дроби, называемый *диафрагменным числом*, равен частному от деления величины главного фокусного расстояния на величину диаметра отверстия диафрагмы. Диафрагменные числа (5,6; 8; 11 и т. д.) указываются на оправе объектива. Чем больше диафрагменное число, тем меньше диаметр отверстия диафрагмы и тем меньше света поступает через объектив на матрицу. Наоборот, минимальные значения диафрагменных чисел соответствуют максимально раскрытой диафрагме, и, следовательно, максимальному светопропусканию.

Максимальная диафрагма – максимально возможное значение диаметра диафрагмы объектива – соответствует максимальному светопропусканию, то есть геометрической светосиле объектива. Для разных объективов максимальная диафрагма различна. Для объективов с переменным фокусным расстоянием указывают диапазон возможных значений диафрагмы.

Диафрагменные числа, соответствующие максимальному светопропусканию, то есть геометрической светосиле объектива, не всегда входят в стандартный ряд значений из-за его технических возможностей, так например, 1,9, 3,2, 4,5 не доходят до стандартных значений 1,4, 2,8, 4,0.

Затвор – устройство, дозирующее время поступления светового потока на приёмник излучения. При закрытом затворе световой поток перекрывается полностью. Время, в течение

которого затвор может быть открыт – время выдержки – определяет количество света, попадающего на приёмник излучения, и тем самым регулирует экспозицию.

Если максимальное время выдержки практически не ограничено, то минимальное время зависит от класса фотоаппарата. Современные фотоаппараты позволяют задавать время выдержки менее $1/2000$ долей секунды, что позволяет делать снимки быстро перемещающихся объектов.

На заре фотографии фотоматериалы имели низкую чувствительность, выдержка измерялась часами, позднее – минутами и секундами, поэтому специальный механизм затвора камерам не требовался – его роль выполняла крышка объектива, а время, на которое она снималась для экспонирования фотопластинки, отсчитывалось фотографом по обычным часам или «в уме». И до сих пор высокоточные камеры для фототеодолитной съёмки не имеют механизма затвора. В дальнейшем требуемые выдержки сократились до десятых, сотых и тысячных долей секунды, поэтому для управления затвором потребовался точный автоматический механизм.

Затворы классифицируются по месту расположения в камере и по конструкции.

Центральный затвор, как правило, устанавливается между линзами объектива или непосредственно за задней линзой. По принципу действия это *лепестковый* затвор. Он представляет собой ряд тонких сегментов, по виду похожих на ирисовую диафрагму, приводимых в действие системой пружин и рычагов. При экспонировании сегменты открывают действующее отверстие объектива симметрично относительно его центра и практически сразу освещают поверхность светочувствительного элемента.

Фокальный затвор располагается вблизи фокальной плоскости непосредственно перед светочувствительным материалом. По принципу действия фокальные затворы обычно относятся к *шторным* (*шторно-щелевым*). Такой затвор представляет собой пару непрозрачных шторок, между которыми есть пропускающая свет щель переменной ширины.

Широкое распространение в современных компактных фотоаппаратах и камерах мобильных телефонов получил *электронный* затвор. В нём время экспозиции определяется возможностями электронного управления матрицей, считывания сигнала за необходимый период времени.

Матрица – это упорядоченный набор светочувствительных элементов, переводящих построенное объективом оптическое изображение в электрические сигналы, которые в дальнейшем оцифровываются и после обработки процессором фотокамеры используются для получения цифрового изображения. Чем больше физический размер матрицы, тем более качественное изображение можно получить. Но с бóльшим размером матрицы связан и бóльший размер объектива и, соответственно, самой камеры.

В настоящее время распространены два основных типа матриц: ПЗС (Прибор с Зарядовой Связью), или *CCD* (*Charge-Coupled Device*), и КМОП (Комплементарный Металл-Оксид-Полупроводник), или *CMOS* (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*). Различие между ними

заключается в том, что в случае с ПЗС-матрицей сигнал от фотодиода, поступает в процессор матрицы в аналоговой форме и там оцифровывается, а у КМОП-матрицы каждый фотодиод имеет свой аналого-цифровой преобразователь (АЦП). ПЗС-матрицы обладают большей светочувствительностью и лучшей устойчивостью к шумам, по сравнению с КМОП-сенсорами.

Видоискатель – конструктивная деталь фотоаппарата, показывающая границы будущего снимка. Существуют различные виды электронных и оптических видоискателей. В цифровых фотоаппаратах в качестве видоискателя часто применяются ЖК экраны.

Каждый современный цифровой фотоаппарат обладает собственным, более или менее мощным **процессором** и программным обеспечением (ПО), управляющими работой основных конструктивных элементов фотоаппарата и первичной обработкой цифровых снимков. ПО регулирует работу затвора и объектива в автоматическом и ручном режимах съёмки, выбор баланса белого, определение экспозары и других параметров съёмки, управляет возможностью серийной съёмки и брекетингом (съёмкой нескольких кадров одного и того же объекта с разными настройками основных параметров, в первую очередь, экспозиции), работой вспышки и осуществляет другие функции. В современных цифровых фотоаппаратах, рассчитанных на широкого пользователя, ПО обеспечивает сшивку панорам по серии снимков, получение *HDR*-снимков, устранение эффекта «красных глаз», создание изображения со спецэффектами и т. д.

Система автофокусировки. Простые камеры имеют, как правило, трёхступенчатый автофокус: 0,6–1,2 м, 1,2–3 м, более 3 м или «бесконечность». Высококачественные автофокусы имеют до 300 ступеней с минимальным измеряемым расстоянием около 5 см. По принципам работы различают активную и пассивную систему автофокусировки. В активной системе предусматривается посыл активных сигналов к снимаемому объекту и регистрация отражённого сигнала специальными датчиками. В случае пассивной автофокусировки на специальной матрице автофокуса выполняется сравнение освещённости соседних элементов, и по результатам этого сравнения фотоаппарат подстраивает фокус до достижения оптимального контраста ячеек. Очень важной характеристикой является скорость срабатывания автофокуса. От неё зависит, успеет ли фотоаппарат сфокусироваться на объекте в случае его перемещения. При всём удобстве автофокуса невозможно отказаться от фокусировки вручную, которая также очень важна для правильной расстановки акцентов в кадре, например при съёмке через стекло, решётки, ветви и в других случаях.

Кнопка спуска затвора – устройство, запускающее механизм получения кадра. Как правило, кнопка спуска работает в режиме двухступенчатого нажатия. При нажатой наполовину кнопке выполняются автофокусировка и экспокоррекция, при полностью нажатой – съёмка и все последующие операции по обработке кадра.

2.2. Дополнительное фотографическое оборудование

Для произведения съёмки необходимо фотографическое оборудование: собственно фотографическая камера, светофильтры, фотовспышки, штативы, бленды и прочее.

Светофильтры – это оптические устройства, служащие для подавления, выделения или преобразования части светового потока, обычно части спектра. В фотографии светофильтры применяются для корректировки цвета, изменения яркости и контрастности фотографируемых объектов в процессе фотографирования, а также для воспроизводства различных цветовых и световых эффектов. Светофильтры крепятся к объективу как правило резьбовым соединением перед передней линзой объектива.

Разные задачи по влиянию на световой поток, попадающий в объектив фотокамеры, решаются применением разных типов светофильтров.

Поляризационный светофильтр. Распространение света представляет собой волновой процесс, напоминающий волны на поверхности водоёма от камня, брошенного в воду. Разница состоит в том, что камень создаёт волну, движущуюся только по плоскости водной поверхности, тогда как световая волна не ограничивается одной плоскостью, а распространяются во всех направлениях. Функция поляризационного светофильтра – пропускать свет с поляризацией в одной плоскости, что важно для устранения или, по крайней мере, значительного снижения интенсивности бликов, образующихся на зеркально гладких неметаллических поверхностях, например стеклянных окнах и витринах, покрытых пластиком, поверхности водоемов, глянцевых листьях растений. При использовании поляризационного светофильтра производимый им эффект заметен глазу и хорошо просматривается в видоискателе фотоаппарата. Надо иметь ввиду, что степень поляризации отражённого света напрямую зависит от угла его падения (отражения).

Ультрафиолетовый светофильтр. Это самый распространённый и часто применяемый фильтр. Его основная задача – не допускать к матрице цифрового фотоаппарата невидимое глазом ультрафиолетовое излучение (с длиной волны менее 370–390 нм). Воздействие этого излучения зависит от места съёмки, погоды, времени суток. Например, при съёмке в средней полосе в утренние и вечерние часы, когда плотность атмосферной дымки, т. е. её способность к поглощению ультрафиолета, сравнительно велика, влияние на изображение ультрафиолетовых лучей практически исключено. Зато днём, когда Солнце в зените, а также высоко в горах или на берегу моря уровень излучения значительно ухудшит качество получаемого фотоизображения, если не применять защитные меры.

Корректирующие светофильтры применяются в чёрно-белой фотографии для изменения (коррекции) спектрального состава света. Светофильтр, окрашенный в один из дополнительных цветов (голубой, пурпурный или жёлтый), частично задерживает излучение одного из основных составляющих белого света и пропускает излучение других. Голубой пропускает синие и зелёные

лучи, но задерживает красные, пурпурный пропускает синие и красные, но задерживает зелёные, жёлтый пропускает зелёные и красные, но задерживает синие. Использование цветных светофильтров можно сделать фотоизображение более (с жёлтым, жёлто-зелёным, оранжевым и красным фильтрами) или, наоборот, менее контрастным (с голубым фильтром).

Градиентные фильтры, часто применяющиеся в пейзажной фотосъёмке, выравнивают яркость сцены, притемняя или меняя цвет части изображения. Обычно они служат для компенсации избыточной яркости неба и для получения различных художественных эффектов. Это достигается путём частичного окрашивания фильтра в нейтрально-серый (применяя нейтральный градиентный фильтр) или в любой другой цвет (используя цветной градиентный фильтр).

Нейтральные фильтры также можно называть затемняющими. Действие их заключается в равномерном уменьшении светового потока, попадающего в объектив фотоаппарата. Они используются в случае необходимости увеличения времени экспозиции, например, для достижения меньшей глубины резкости при очень ярком свете. Нейтральные фильтры бывают разной плотности, и это отражено в их названиях.

Стоит упомянуть также о самом простом *защитном светофильтре*, задача которого состоит в защите передней линзы объектива от загрязнений и повреждений.

Для начала можно ограничиться использованием защитного светофильтра, если предполагается фотосъёмка в сложных условиях, и поляризационного для устранения бликов. Применение поляризационного светофильтра оправдано ещё и тем, что такого же результата нельзя добиться при последующей компьютерной обработке снимков. При работе со светофильтрами необходимо учитывать, что они требуют такой же аккуратности в обращении, как и объектив фотоаппарата, а также следить за чистотой обеих поверхностей фильтра и соединительной резьбы.

Бленда (от нем. *blenden* – заслонять) – дополнительный аксессуар к объективу или часть его оправы, предназначенная для борьбы с бликами и засветкой при съёмке в сложных условиях освещения. Бленды представляют собой тонкостенные полые насадки различных форм; изготавливаются они из пластмассы, резины или металла и крепятся на резьбу для фильтров или на специальную резьбу, предназначенную исключительно для них (рис. 2.2.1).



Рис. 2.2.1. Бленды различной формы

Помимо основного предназначения – отсечения света, не играющего роли для снимаемой сцены, но который может быть захвачен объективом, бленда может выполнять защитную функцию – она прекрасно оберегает объектив в случае падения (часто бленды специально делают мягкими), а также предохраняет от попадания

капель при фотографировании в дождливую погоду. Применение бленды также даёт возможность устранить блики при съёмке на широком угле.

Штативы. В те времена, когда фотография только зарождалась, роль штатива была чрезвычайно высока, так как фотоаппараты весили столько, что и носить-то их было тяжело, не говоря уж о том, чтобы неподвижно держать на весу в процессе экспозиции, которая занимала даже не секунды, а минуты и часы. Сейчас лишь у профессиональных фотографов не возникает вопросов по использованию штатива и его пользе, тогда как многие фотолюбители относятся к нему довольно скептически. В действительности можно привести достаточно веских доводов за использование фотоштатива, например: он необходим при применении длиннофокусного фотообъектива, в условиях недостаточной освещённости, во время съёмки портретов и тем более автопортрета, при макросъёмке, во время пейзажной съёмки, при создании панорамных снимков.

Для съёмки на природе из всех разновидностей штативов представляет интерес только класс, называемый треногами (рис. 2.2.2-а). Различаются они высотой, весом, рабочей нагрузкой, способом крепления ножек (обычно это цанговый зажим или эксцентрик) и максимальным углом между ними, материалом и конструкцией наконечников ножек (остриё или резиновая пробка), а также наличием и конструкцией выдвижной центральной штанги, определяющей рабочую высоту штатива.



Рис. 2.2.2. Штатив-тренога (а), штативные головки: б – 3D-головка, в – шаровая головка

Для оснащения фотоштативов используются два основных типа головок: шаровые, обеспечивающие крепление фотоаппарата в любом положении, и шарнирные с тремя независимыми шарнирами, 3D-головки.

Каждый шарнир 3D-головки имеет отдельную фиксирующую рукоятку, что позволяет фиксировать головку в каждой степени свободы, независимо от двух других. В некоторых головках такого типа один из шарниров заменён откидывающейся на 90° платформой для съёмки вертикального снимка. Головка обычно оснащается круговым пузырьковым уровнем (или двумя

Штативы снабжены штативной головкой – устройством для крепления кино-, видео- или фотокамеры. Головки бывают универсальными, т. е. приспособленными как для видео-, так и фотосъёмки, и специальными, для видеосъёмки. В отличие от головок, предназначенных для телевидения и кинематографа, от фотографических головок требуется только надёжная фиксация камеры.

обычными, расположенными перпендикулярно) и лимбами с угловыми делениями для удобства отсчёта углов (рис. 2.2.2-б).

Шаровая головка состоит из шарового шарнира с фиксатором, что позволяет наклонять фотоаппарат в любом направлении одним движением. Шаровые головки обычно компактны, но их рабочая нагрузка (т. е. насколько тяжёлой может быть камера, с которой используется штатив) весьма ограничена (рис. 2.2.2-в).

Разновидностью 3D-головки, обеспечивающей отдельными шарнирами поворот камеры в трёх разных плоскостях, является специальная головка, предназначенная для создания панорамных фотографий, конструктивная особенность которой предотвращает сдвиг оптической оси при панорамировании.

Для крепления аппаратуры к штативной головке применяется тип соединения со стандартной резьбой, а все современные фотоаппараты оснащаются специальным штативным гнездом.

Вспышка. Лампой-вспышкой оборудованы практически все современные цифровые фотокамеры. Это устройство согласовано с аппаратурой экспомера камеры и обеспечивает импульс света в момент срабатывания затвора камеры. Необходимость его определяется условиями съёмки, которые порой таковы, что оптическая система фотоаппарата не в состоянии обеспечить приемлемую экспозицию, а чувствительности ПЗС-матрицы не хватает.

Обычно в фотоаппаратах имеются четыре режима работы вспышки: автоматический, принудительное срабатывание, выключено, подавление «эффекта красных глаз».

Помимо встроенных, существуют также внешние вспышки, применяющиеся при недостаточной мощности встроенной вспышки камеры, а также при необходимости освещения объекта съёмки «не в лицо».

Основная характеристика вспышки – ведущее число (*guide number*), определяющее дистанцию светового импульса при разных значениях диафрагмы. У встроенных в камеру вспышек ведущее число не очень большое (как правило, не более 15). Внешние вспышки обладают значительно более высокой мощностью (ведущее число в среднем 36 и выше), что позволяет существенно увеличить дистанцию до снимаемого объекта без необходимости повышать чувствительность.

Встроенные в фотокамеру вспышки имеют фиксированный угол освещения. Внешние вспышки, кроме совсем маломощных, имеют зум-рефлектор для установки угла освещения вспышки так, чтобы он соответствовал фокусному расстоянию объектива.

Следует учитывать, что использование встроенной вспышки, дающей жёсткий свет, приводит к некоторой потере глубины кадра, т. е. изображение становится более контрастным и плоским, теряются полутона. Внешние же вспышки, оборудованные поворотным рефлектором, позволяют изменять направление света, уменьшая контраст и делая освещение всего кадра более равномерным.

3. ФОТОСЪЁМКА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

3.1. Планирование фотосъёмки при полевых географических исследованиях

Наверное, многие из вас, любясь работами известных фотохудожников-пейзажистов, искренне восхищались оригинальными ракурсами съёмки, гармоничной композицией фотографий, настроением, которое они создают. Кажется, что такие фотографии – исключительно результат вдохновения, внезапного озарения художника или просто удачи. На самом деле, чтобы получить выразительный кадр, приходится потратить немало времени на выбор нужной точки съёмки, дождаться подходящих условий освещения, подобрать необходимые установки фотоаппарата, перепробовав несколько вариантов, другими словами – провести предварительную подготовку, спланировать фотосъёмку.

Фотосъёмка природных объектов в исследовательских целях также нуждается в предварительной подготовке и планировании, но требует ещё более тщательного и рационального подхода. План фотосъёмки, выполняемой при полевых географических исследованиях, составляют в соответствии с типом изучаемого объекта и задачей исследования. Рекомендуется наметить список *сюжетов фотосъёмки, виды необходимых фото- или видеосъёмок, набор требуемой фотосъёмочной и дополнительной аппаратуры, определиться с временем выполнения работ и оптимальными условиями освещения. Композицию кадра, точку съёмки и ракурс, установки фотоаппарата*, как правило, удобнее уточнить уже на местности непосредственно перед съёмкой.

Сюжеты фотосъёмки выбирают таким образом, чтобы полнее отобразить как сам исследуемый объект, так и методы его исследования. Как правило, совокупность таких сюжетов отражает географическое положение объекта, отдельные элементы окружающей территории, оказывающие влияние на объект, общий вид самого объекта, его структуру и важнейшие его компоненты. При комплексном географическом обследовании часть сюжетов посвящается видам выполняемых работ и используемой аппаратуре.

Вид съёмки выбирают в зависимости от особенностей изучаемого объекта и поставленной задачи. Так, если достаточно зафиксировать одномоментное состояние объекта, применяют покадровую съёмку, если планируется изучение динамики объекта или развития природного процесса, используют серийную фотосъёмку или различные виды видеосъёмки. Для изучения форм объектов, прежде всего форм рельефа, применяют стереоскопическую фотосъёмку. Если же требуется получить наглядное отображение особенностей ландшафтов с преобладанием слабовыраженных форм рельефа, хороший материал для визуального анализа, можно получить, выполнив обычную фотосъёмку при условии правильного выбора сезона, ракурса съёмки и

условий освещения. Исследование протяжённых объектов или объектов, имеющих большие площади, требует выполнения различных видов панорамной съёмки, объектов малых размеров – макросъёмки. При комплексном обследовании территории бывает необходимо применение сразу нескольких видов съёмки.

Тип *фотосъёмочной аппаратуры* должен соответствовать выбранному виду съёмки. Например, для выполнения покадровой съёмки могут применяться обычные цифровые фотокамеры, для серийной или видеосъёмки – видеокамеры или фотокамеры с функцией записи видео. Стереоскопическая видеосъёмка должна производиться видеокамерой, обеспечивающей запись стереоизображения.

От намеченного масштаба и территориального охвата съёмки зависит тип используемых объективов, величина фокусного расстояния и угол поля зрения объектива. Так, для съёмки удалённых объектов в крупном масштабе необходимы длиннофокусные объективы, для обзорной мелкомасштабной съёмки удалённых объектов – широкоугольные короткофокусные. От фокусного расстояния объектива зависит и глубина резко изображаемого пространства.

Дополнительную аппаратуру также подбирают с учётом вида планируемой съёмки и особенностей исследуемого объекта. Например, для съёмки водных объектов могут понадобиться поляризационные светофильтры, для съёмки пейзажей, когда на снимке присутствует изображение неба и земли, – градиентные. Полезно, а иногда просто необходимо, применение штативов. Их используют при макросъёмке, а при съёмке панорам – по возможности ещё и со специальными панорамными насадками. Для улучшения освещённости снимаемого объекта в случае макросъёмки, могут потребоваться специальные отражательные экраны, подсветка или специальная внешняя вспышка.

Время выполнения работ (сезон, месяц, декаду) планируют в зависимости от задачи исследования. Так, для фотосъёмки растительности могут быть выбраны несколько дат, связанных с определёнными стадиями вегетации растений, при фотосъёмке водных объектов – с положением уреза воды в половодье и межень. Для фотосъёмки ландшафтов со слабовыраженными формами рельефа рекомендуется период начала вегетации растений. В более поздние сроки подросшая травяная растительность нивелирует формы микрорельефа, а кустарники, покрытые листвой, создают непроницаемые экраны. Дату съёмки по возможности согласовывают с прогнозом погоды, а время суток определяют исходя из требуемых условий освещения.

Чтобы обеспечить оптимальные *условия освещения* объекта выбирают время суток, соответствующее определённой высоте Солнца над горизонтом, и погодные условия, позволяющие получить подходящий вариант освещения: прямыми солнечными лучами или рассеянным светом.

Непосредственно перед началом съёмки важно в соответствии с реальной обстановкой на местности выбрать *точку съёмки* и *ракурс*, наметить *композицию кадра*. Продуманная композиция позволит сбалансировать взаимное расположение главного и второстепенного объектов, ближнего и дальнего планов, сконцентрирует внимание на главном объекте. От расстояния до снимаемого объекта зависит масштаб снимка, глубина резко изображаемого пространства, перспективные искажения, от выбора точки съёмки, ракурса и направления освещения – распределение света и тени, выразительность снимка.

Чтобы получить изображение хорошего качества, правильно передающее цвет и локальные контрасты объектов, нужно внимательно отнестись к выбору *установок фотоаппарата* на основе оценки условий освещения в момент фотосъёмки. Не всегда съёмка в автоматическом режиме, предусмотренная во всех современных фотокамерах, даёт удовлетворительный результат. В этом случае можно выбрать полуавтоматический или полностью ручной режим съёмки и самостоятельно подобрать все установки фотоаппарата: баланс белого, значения диафрагмы и выдержки, чувствительность матрицы, компенсацию экспозиции и т. д.

В заключение следует отметить ещё два момента, которые важны для проведения фотосъёмки в полевых условиях. Фотографии должны иметь координатную привязку и снабжаться описанием места и условий их получения. Другими словами, результаты фотосъёмки должны быть чётко задокументированы.

3.2. Планирование сюжета и композиции кадра

Задача художественной фотографии – создать субъективный образ объекта в соответствии с художественным замыслом и эстетическими предпочтениями автора. Фотохудожники используют оригинальные способы построения композиции, неожиданные ракурсы съёмки, различные визуальные эффекты. Задача фотосъёмки в научно-исследовательских целях, напротив – получить средствами фотографии по возможности объективную и точную информацию о свойствах и состоянии объекта. Этой задаче подчинён выбор *сюжетов и композиции кадра*.

При полевых географических исследованиях, как правило, используют следующие варианты *сюжетов*, отражающих:

общий вид природно-территориального комплекса (ПТК), положение объекта в пределах ПТК, отдельные элементы (компоненты) ПТК (рис. 3.2.1);

общий вид и структуру объекта исследования, особенности его морфологических частей (рис. 3.2.2);

виды работ при географическом обследовании, используемую аппаратуру (рис. 3.2.3).

Независимо от сюжета, каждая фотография должна отличаться продуманной композицией, которая позволила бы акцентировать внимание на самых важных деталях объекта, сделать

фотографию не только информативной, но и красивой. Почему одни фотографии притягивают взгляд, а мимо других проходишь равнодушно? Существуют определённые правила построения композиции, с которыми следует познакомиться начинающим фотографам.

а



б



в



Рис. 3.2.1. Примерный набор сюжетов фотосъёмки почвенного разреза: а – общий вид ПТК, б – положение объекта в пределах ПТК, в – отдельные элементы ПТК (характерные представители флоры)

а



б



Рис. 3.2.2. Примерный набор сюжетов фотосъёмки почвенного разреза: а – общий вид объекта (все почвенные горизонты), б – морфологические части объекта (отдельные почвенные горизонты, включения и т. д.)



Рис. 3.2.3. Примерный набор сюжетов при съёмке почвенного разреза. Виды выполняемых работ

С латыни «*compositio*» переводится как соединение или приведение в порядок. Таким образом, под словом «композиция» подразумевается продуманное построение изображения, определение соотношения отдельных его частей и, в конечном счете, получение гармоничного сочетания объектов в поле кадра, т. е. завершённого изображения.

Перед тем как нажать на кнопку спуска затвора, нужно определиться со смысловым или сюжетным центром будущей фотографии, т. е. мысленно выделить то, что является главным, интересным. Далее следует вспомнить правило золотого сечения, которым на протяжении многих веков пользуются художники для построения гармоничных изображений, или близкое к нему, используемое в фотографии, правило третей. Смысл его заключается в том, что пространство кадра мысленно делится вертикальными и горизонтальными линиями на три части по горизонтали и три по вертикали, образуя сетку из девяти ячеек. Линии располагаются на расстоянии $3/8$ от края кадра (при золотом сечении) или на расстоянии $1/3$, когда ячейки равны (в правиле третей). Такая сетка, выводимая на экран цифровой фотокамеры, призвана помочь сбалансировать композицию кадра (рис. 3.2.4). Важные элементы изображения рекомендуется располагать вдоль линий сетки или в точках их пересечения, т. к. именно они автоматически приковывают взгляд. Поэтому, например в пейзажах линию горизонта часто располагают вдоль верхней или нижней линии, а рядом с одной из вертикальных линий размещают важный элемент композиции (дерево, здание и так далее), к которому необходимо привлечь внимание. Конечно, ничего плохого в расположении главных объектов по центру кадра нет. Но стремясь сделать фотографии более привлекательными, следует помнить о золотом сечении (или правиле третей) и других композиционных приёмах.

Правило диагоналей – композиционный приём, согласно которому важные элементы изображения, размещённые вдоль диагональных линий, должны «вести» взгляд к сюжетному центру. Диагональные композиции в отличие от построенных горизонтально, воспринимаются более динамичными. Причём, направление диагонали из левого нижнего угла к правому верхнему кажется более спокойным, нежели противоположное (рис. 3.2.5).

Ещё один способ акцентировать внимание на главном объекте – поместить его на передний план, а задний план превратить в слегка размытый фон, например максимально открыв диафрагму, как это часто делают в портретной фотосъёмке. Такой приём при съёмке пейзажей позволяет приблизить изображение объекта переднего плана за счёт того, что дальний план теряет чёткость очертаний, как это наблюдается в жизни из-за атмосферной дымки, которая кроме того ещё уменьшает насыщенность цвета и придаёт объектам лёгкий голубоватый оттенок. Всё вместе создает ощущение *воздушной перспективы*, подчёркивая глубину изображаемого пространства.

Использование переднего, среднего и заднего планов – важное условие построения интересной композиции, позволяющее передать объём, глубину пространства, перспективу. Поскольку на



Рис. 3.2.4. Использование сетки для построения композиции: а – ключевые объекты расположены в центре кадра, б – ключевые объекты расположены в соответствии с правилом третей

ощущение объёма влияет цвет: тёмные предметы кажутся ближе, светлые – дальше, то более тёмный передний план на более светлом фоне усилит ощущение глубины, создаст *тональную перспективу*. Задний план – важный элемент композиции, но он может содержать множество отвлекающих деталей, которые убирают, не только используя открытую диафрагму, но и, например, слегка сместив в сторону камеру или просто повременив с нажатием кнопки несколько секунд.

Определившись с объектом фотографирования, выбирают *точку съёмки*. Конечно, любой объект можно сфотографировать откуда угодно. Однако, понимая, что выбор точки съёмки играет существенную роль в создании композиции кадра и влияет на восприятие сфотографированного



Рис. 3.2.5. Использование правила диагоналей при построении композиции

объекта и выразительность снимка, из бесконечно большого количества точек важно найти именно ту, с которой объект будет смотреться в более выигрышном ракурсе в соответствии с задачей выполняемого исследования или творческим замыслом фотографа. Относительно объекта точка съёмки может располагаться на разном *расстоянии* и *высоте*.

От *расстояния до объекта* съёмки и величины фокусного расстояния объектива зависит, прежде всего, масштаб будущего фотоснимка. Укрупнить масштаб можно увеличив фокусное расстояние объектива и уменьшив расстояние до объекта (рис. 3.2.6). Подобрать правильное сочетание этих установок можно не только выбрать оптимальный масштаб, но и повлиять на передачу глубины пространства. Дело в том, что иллюзорное ощущение глубины за счёт так называемой *линейной перспективы*, возникает у рассматривающего снимок человека, когда изображения объектов пропорционально уменьшается по мере их удаления от переднего плана, так, как это наблюдается в жизни. Важное значение имеет и угол, под которым сходятся на дальнем плане линии и плоскости.



$$Y_1=Y_2; \quad f_2>f_1$$



$$Y_1>Y_2; \quad f_1=f_2$$

Рис. 3.2.6. Фотосъёмка объекта в разных масштабах

В этом можно убедиться, сделав два снимка одного пейзажа, в котором присутствуют объекты ближнего и дальнего планов, короткофокусным и длиннофокусным (или нормальным) объективом. Делая снимок длиннофокусным объективом, нужно запомнить размер (масштаб) изображения объекта ближнего плана на мониторе фотоаппарата. Затем следует сократить расстояние до объекта ближнего плана и фокусное расстояние объектива примерно вдвое, но так, чтобы масштаб изображения объекта ближнего плана остался прежним. Сравнивая два снимка можно убедиться, что разница в масштабах ближнего и дальнего планов, и соответственно ощущение глубины пространства будет больше на снимке, полученном короткофокусным объективом. Поэтому если требуется подчеркнуть ощущение глубины пространства, лучше воспользоваться короткофокусным объективом. При этом важно помнить, что снимки, полученные со слишком близкого расстояния, искажают пропорции объектов ближнего плана.

Ещё один важный момент, определяющий выбор точки съёмки – её *высота* относительно поверхности земли. В фотографии в зависимости от положения по вертикали выделяют

нормальную, нижнюю и верхнюю точки съёмки (рис. 3.2.7). В случае нормальной точки съёмки фотоаппарат располагается на уровне глаз человека и определяет привычный, естественный для нас взгляд на окружающий мир: на всё, что находится выше, человек смотрит снизу, на всё, что ниже – сверху. Поэтому большинство снимков делается именно с нормальной точки съёмки.

Следующая составляющая при выборе точки съёмки – *направление съёмки, ракурс*, характеризующий угол разворота оптической оси объектива фотоаппарата относительно объекта съёмки. Направление съёмки определяет фронтальную или диагональную композицию снимка. При фронтальной композиции объекты размещаются в центре кадра и видны только с передней стороны. Гораздо более интересными в художественном плане получаются снимки при диагональной композиции, в случае смещения камеры в ту или иную сторону от центрального



Рис. 3.2.7. Фотосъёмка при разной высоте точки съёмки: а – съёмка с нормальной точки (фотоаппарат на уровне глаз человека), б – съёмка с нижней точки (фотоаппарат на уровне земли)

положения. Тогда становится видной не только передняя, но и боковая сторона объекта, и изображение приобретает необходимую глубину и перспективу.

Фотосъёмка в полевых условиях обычно выполняется в нескольких вариантах, в самых разных ракурсах (с использованием как фронтальной, так и диагональной композиций) и с различных позиций по высоте с таким расчётом, чтобы исследуемый объект получил всестороннее отображение на снимках (рис. 3.2.8). Например, русло реки можно снять при направлении съёмки как вдоль русла, так и под разными углами к нему.



направление съёмки сверху-вниз



направление съёмки
под углом 45° к нормали



направление съёмки горизонтальное
вдоль русла реки



направление съёмки горизонтальное
под углом 90° к руслу реки

Рис. 3.2.8. Фотосъёмка объектов в разных ракурсах

Перечисленные приёмы построения композиции используются для отображения относительных размеров и положения фотографируемых объектов. Чтобы снимок содержал информацию о точных размерах объекта, часто в кадр помещают линейки, рейки или другие предметы известного размера, например спичечный коробок, лопату, тетрадь (рис. 3.2.9).

В заключение заметим, что, заботясь о правильном построении композиции, не следует забывать и о самых простых правилах: линия горизонта, даже если она не видна, должна быть параллельна горизонтальным краям кадра; не рекомендуется выбирать для съёмки вертикального



Рис. 3.2.9. Использование предметов для обозначения размера объекта

объекта горизонтальное расположение кадра и наоборот; в кадре не должно быть случайных объектов, второстепенные объекты не должны закрывать главный объект или отвлекать от него внимание.

3.3. Выбор, учёт и организация условий освещения объекта

Один из важных моментов в планировании фотосъёмки – выбор, учёт и организация условий освещения. Оптимальные условия освещения позволяют полнее отобразить свойства объекта: его форму, структуру, цвет. Для получения снимков хорошего качества полезно заранее провести рекогносцировку на местности или проанализировать ситуацию по имеющимся картографическим источникам, чтобы определить, в какое время суток солнечный свет будет падать на объект под нужным углом, с какой точки и в каком направлении лучше снимать, чтобы был выдержан оптимальный угол между направлением солнечных лучей и направлением съёмки, оценить, не потребуется ли дополнительное освещение. После этого остаётся дождаться наступления подходящих условий и выполнять фотосъёмку с заранее выбранной позиции.

К сожалению, такой идеальный вариант возможен не всегда. Например, фотограф не располагает достаточным временем, чтобы ждать, когда Солнце будет освещать объект под нужным углом или не может добиться нужного освещения из-за особенностей расположения

объекта и недоступности оптимальной точки съёмки. Если выбора нет, следует оценить реальные условия освещения на момент съёмки для коррекции установок фотоаппарата и при необходимости организовать дополнительное освещение объекта.

К важным факторам, влияющим на конечный результат, относятся: *тип источника света, общий уровень освещённости, освещение прямым или рассеянным светом, высота Солнца над горизонтом, направление солнечных лучей относительно направления съёмки.*

Тип источника света. Освещение может быть *естественным*, которое создаётся прямым и рассеянным солнечным светом, или *искусственным*, при использовании вспышки или различных типов ламп для подсветки. От источника света зависит цветопередача на снимке. Это касается не только разных типов источников света, но и вариаций естественного освещения в зависимости от типа облачности. Чтобы добиться соответствия цветов на снимке естественным цветам объекта, при задании параметров фотосъёмки выбирают один из наиболее подходящих вариантов «баланса белого». В случае смешанного освещения, например солнечный свет плюс подсветка, можно выполнить оценку «баланса белого» вручную.

На рис. 3.3.1 приведены три снимка почвенного разреза, сделанные при одинаковых условиях освещения, когда диск Солнца был частично закрыт облаком. На снимке, сделанном с автоопределением баланса белого (рис. 3.3.1-а), заметно преобладание серо-голубых оттенков, с установкой баланса белого, обычно обозначаемого термином «облачность» (рис. 3.3.1-б) – оранжево-жёлтых. Цветовая гамма обоих снимков отличается от цвета почвенного разреза в

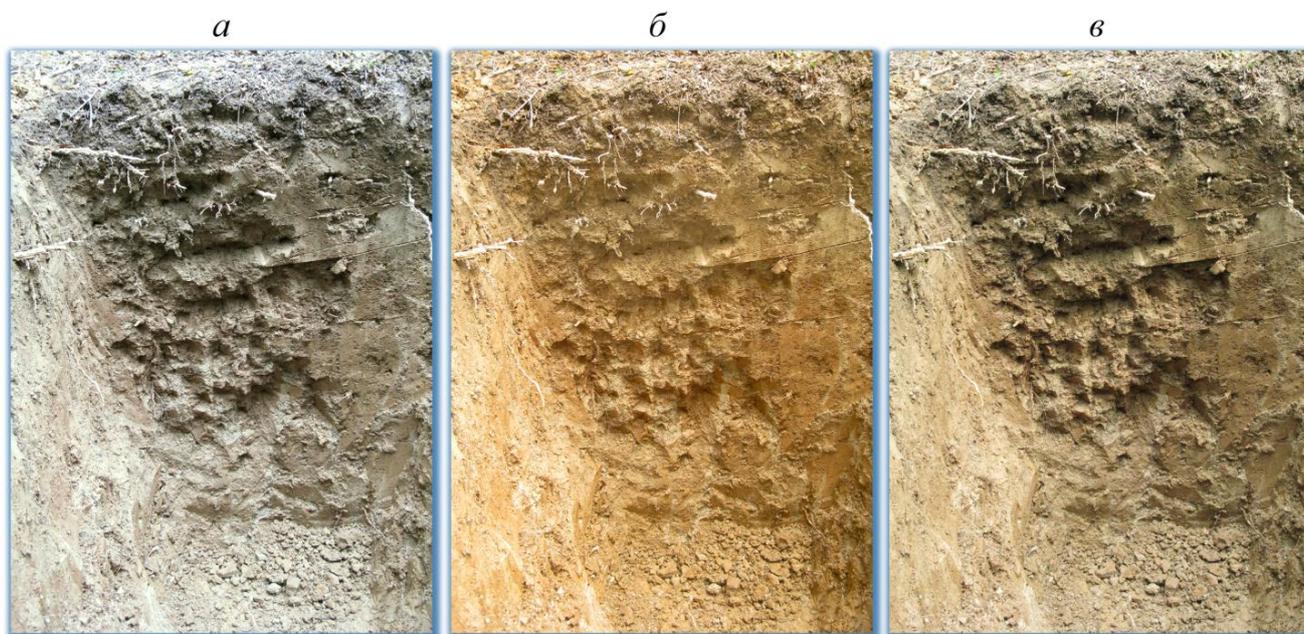


Рис. 3.3.1. Фотоснимки почвенного разреза, полученные при одинаковых условиях освещения (низкая облачность, Солнце, частично закрыто облаком), но при разном значении “баланса белого”: а – автоопределение баланса белого, б – баланс белого “облачность”, в – баланс белого “дневной свет”

природе. Наиболее соответствует оригиналу изображение на снимке, сделанном при установке баланса белого «дневной свет» (рис. 3.3.1-в), что свидетельствует о некотором преобладании прямого солнечного света в момент съёмки.

Общий уровень освещённости объекта непосредственно влияет на выбор экспозиционных параметров, которые позволяют обеспечить нужный уровень экспозиции. В естественных условиях освещённость зависит от высоты Солнца над горизонтом и облачности.

Высота Солнца меняется с географической широтой, временем года и суток, достигая максимума в полуденные часы. В средних широтах при высоте Солнца 45–60° условия по уровню освещённости можно считать благоприятными для съёмки. Если принять необходимый уровень экспозиции в полуденные часы за единицу, то в утренние и вечерние часы (спустя 2–3 часа после восхода и за 2–3 часа перед закатом) падение освещённости потребует увеличения экспозиции в 2–4 раза. При одной и той же величине выдержки это можно сделать, выбрав на шкале диафрагмы (...16; 11; 8; 5,6...) соседние ступени с меньшими диафрагменными числами.

Наличие облаков снижает уровень освещённости в зависимости от типа облаков, их распределению по небосводу и баллов облачности. Наименьшее влияние оказывают лёгкие полупрозрачные перистые облака в верхних слоях атмосферы, наибольшее – сплошная облачность, при наличии низких кучево-дождевых облаков. В последнем случае выбирают экспозиционные параметры, близкие к тем, которые используют при съёмке в предзакатные часы.

В условиях недостаточной освещённости, когда приходится максимально увеличивать экспозицию, снимки будут отличаться плохой проработанностью деталей, меньшей глубиной резкости (при увеличении диаметра действующего отверстия) или «смазом» изображения (при увеличении выдержки) из-за возможной нестабильности положения фотокамеры или объекта. Будут присутствовать на снимке и шумы. Примером может служить съёмка в сумерках (рис. 3.3.2). В таких условиях обязательно использование штатива, благодаря которому можно увеличить уровень экспозиции не за счёт диафрагмы, а за счёт сверхбольших выдержек. Тогда появляется возможность добиться несколько большей глубины резко изображаемого пространства.

Иногда и при высоком уровне освещённости в целом, её всё же не хватает для детальной проработки на снимке отдельных участков объекта, находящихся в тени. При фотосъёмке объектов ближнего плана, освещённость отдельных затенённых участков можно усилить подсветкой, отражающими экранами или вспышкой. На рис. 3.3.3 приведён пример дневной съёмки со вспышкой, которая использовалась для освещения участков подстилки и нижних частей растений при исследовании микроценозов.

Различия в уровне освещённости открытых свету и затенённых частей объекта влияют на величину локальных контрастов на снимке. Уменьшение общей освещённости вызывает

одновременно и уменьшение контраста. Для получения снимков с оптимальными контрастами важен не только общий уровень освещённости, но и соотношение рассеянного и направленного (прямого) освещения.

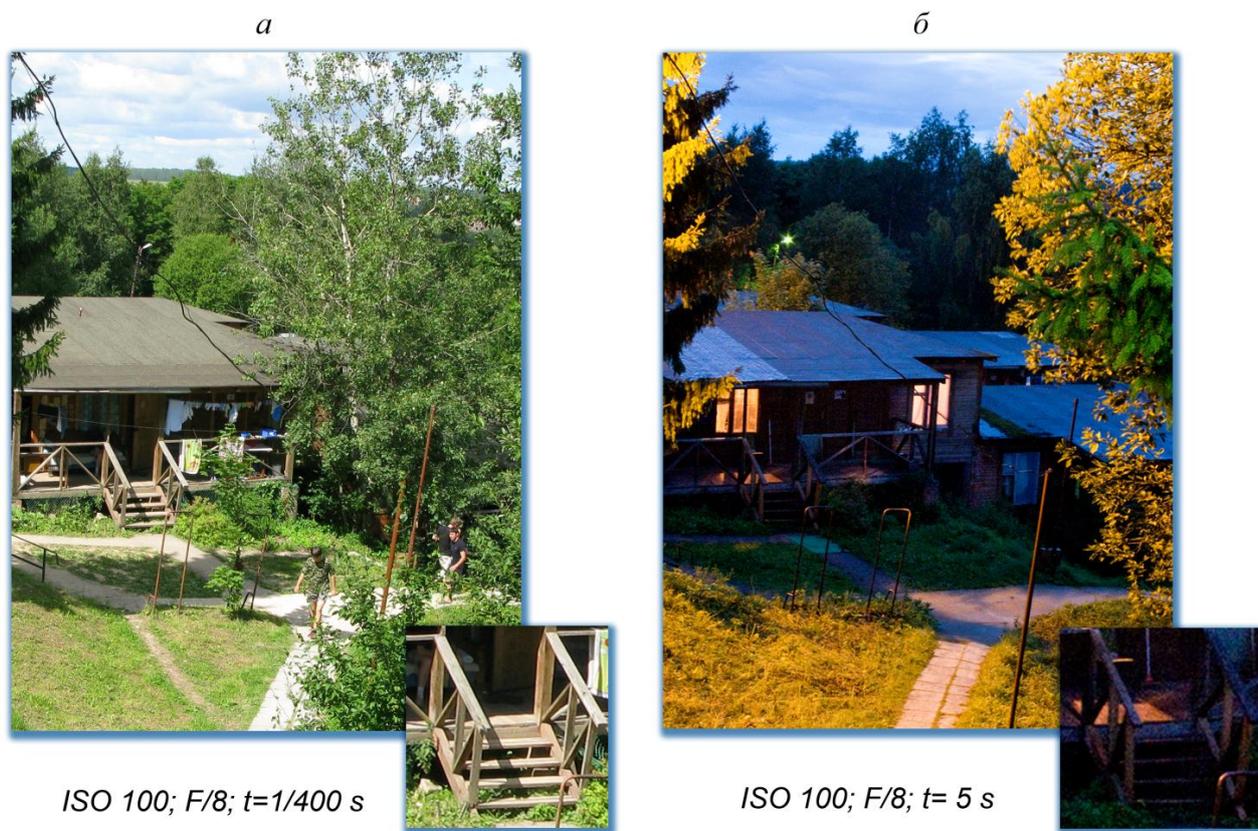


Рис. 3.3.2. Съёмка со штатива при разной освещённости объекта: *а* – нормальной, *б* – недостаточной



Рис. 3.3.3. Съёмка объектов ближнего плана с использованием дополнительного освещения: *а* – съёмка при естественном освещении, *б* – съёмка с использованием вспышки

Освещение прямым и рассеянным светом. В естественных условиях природные объекты освещены как направленным, в виде прямых солнечных лучей, так и рассеянным светом, – солнечным светом, рассеянным в атмосфере и отражённым от облаков и различных земных объектов. По мере увеличения облачности соотношение прямого и рассеянного света меняется в пользу рассеянного.

Освещение *прямым (направленным) светом* за счёт появления глубоких, чётко очерченных теней увеличивает контрастность изображения. Прямое освещение может быть полезно, если требуется подчеркнуть за счёт высоких контрастов структуру объекта, например, при фотосъёмке геологических разрезов, осыпей, других объектов с шероховатой поверхностью.

Однако при очень высоких значениях локальных контрастов будет наблюдаться потеря деталей в светлых или тёмных участках, изображение потеряет информативность и будет восприниматься негативно. Примером может служить съёмка в лесу в полдень при солнечной погоде, когда изображение объектов под пологом леса пестрит небольшими ярко-зелёными и чёрными пятнами освещённых и затенённых участков (рис. 3.3.4-а).

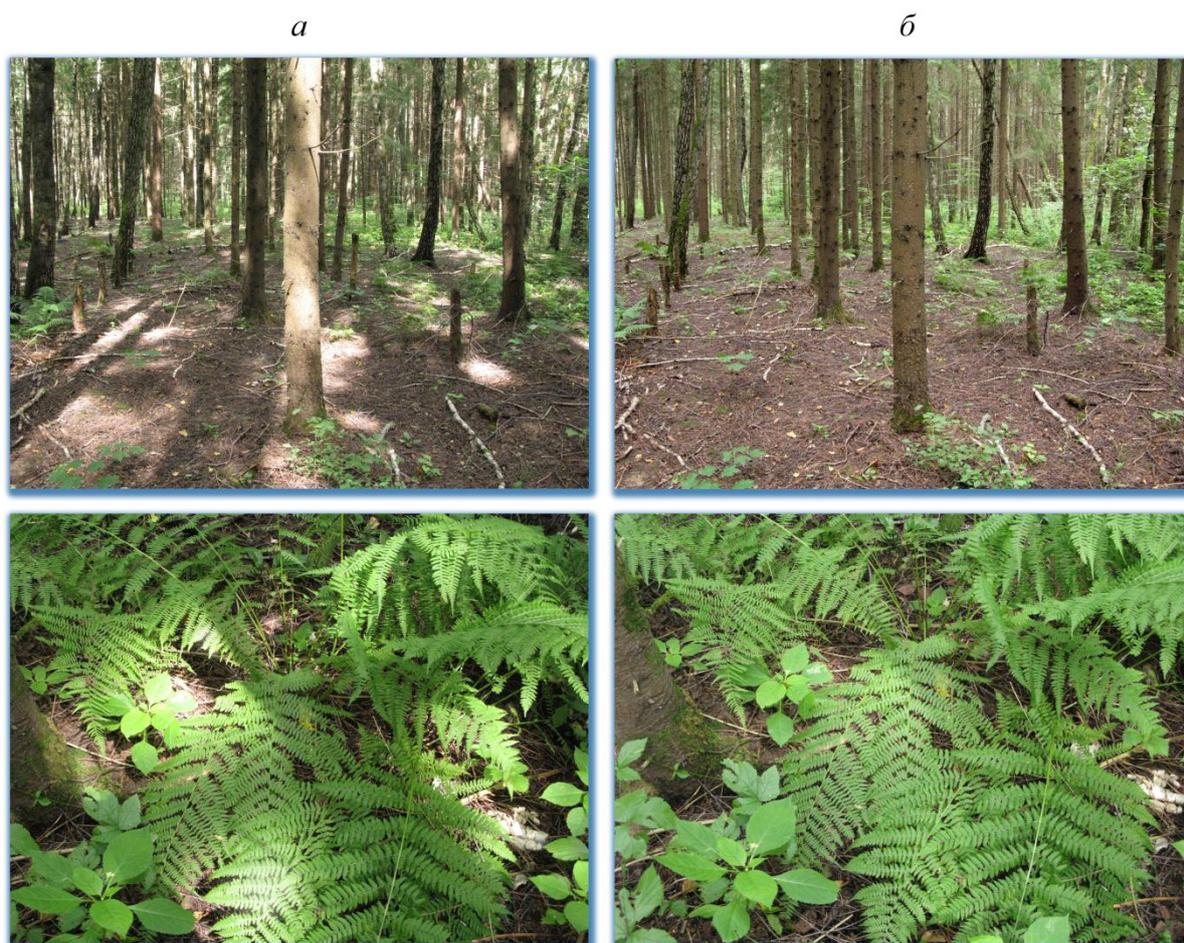


Рис. 3.3.4. Освещение прямым (а) и рассеянным (б) светом. Съёмка в лесу

Ситуацию можно исправить получением *HDR*-снимка (*High Dynamic Range Imaging*) с оптимальными локальными контрастами и расширенным тоновым диапазоном. Для этого

требуется сделать несколько снимков с разной экспозицией желательнее со штатива. При последующей компьютерной обработке из них будет получен один, совмещающий изображения хорошо проработанных затенённых и освещённых участков объекта (рис. 1.9.8). Но наилучший результат в этом случае даст съёмка при рассеянном освещении.

Рассеянный свет очень важен для проработки деталей на затенённых участках, закрытых от попадания прямых солнечных лучей. Он способствует появлению полутеней, снижает локальные контрасты, делает изображение на снимке более мягким. Это объясняет, почему замер экспозиции часто выполняют по полузатенённым участкам. Преобладание рассеянного освещения предпочтительно при съёмке панорам, особенно круговых, требующих равномерного освещения всех объектов, почвенных разрезов, когда нежелательно появление резких теней, отбрасываемых их боковыми стенками, при съёмке под пологом леса, в этом случае рассеянное освещение делает снимок, может быть, менее выразительным, но позволяет лучше разглядеть все детали (рис. 3.3.4-б).

Реализовать преимущества, характерные для обоих типов освещения (прямым и рассеянным светом) можно в случае съёмки при ярком полуденном солнце и незначительной облачности, когда Солнце закрыто высоким полупрозрачным облаком. В такой момент при высоком уровне общей освещённости контрасты будут несколько снижены и есть шанс получить выразительный снимок с проработанными деталями, но не слишком контрастный.

Высота Солнца над горизонтом. От этого показателя, непосредственно влияющего на общий уровень освещённости, зависят длина и «глубина» тени от снимаемых объектов. В полуденные часы при относительно коротких тенях лучше снимать объекты с резкими перепадами высот. Равнинный рельеф с мягкими формами или микрорельеф в таких условиях может никак не отобразиться на фотографии. Наилучший результат можно получить при низкой высоте Солнца, когда более длинные тени помогут подчеркнуть небольшие формы рельефа.

На снимке, сделанном в полуденные часы при высоком положении Солнца над горизонтом (рис. 3.3.5-а), рассмотреть микроформы рельефа практически невозможно. На снимках же, полученных при низком положении Солнца (рис. 3.3.5-б и 3.3.5-в), наоборот, благодаря длинным теням микроформы видны хорошо. Одновременно можно отметить, что в зависимости от направления падения солнечных лучей в утренние (рис. 3.3.5-б) или в вечерние часы (рис. 3.3.5-в) меняется и характер отображения микроформ.

Направление солнечных лучей относительно направления съёмки. Из последнего примера видно, что помимо высоты Солнца над горизонтом большое значение для правильного отображения форм и структуры объекта имеет направление солнечных лучей относительно направления съёмки.

а



б



в



Рис. 3.3.5. Съёмка при разной высоте Солнца над горизонтом и разным направлении падения солнечных лучей: а – съёмка в полуденные часы, б – съёмка в утренние часы, в – съёмка в вечерние часы

Когда направление солнечных лучей совпадает с направлением съёмки, фронтальное освещение, не оставляя теней, делает изображение объекта плоским (рис. 3.3.5-а) и требует дополнительной подсветки с боковой стороны. При съёмке удаленных объектов организовать подсветку невозможно, поэтому оптимальным считается заднее боковое освещение, при котором Солнце находится за спиной фотографа под углом примерно 45° к направлению съёмки, что и позволяет подчеркнуть тенями формы объектов.

Иногда съёмку приходится выполнять при положении Солнца перед объективом, когда фотографируемая сторона объекта освещена только рассеянным светом неба. Переднебоковой свет, благодаря косым теням от снимаемого объекта, может подчеркнуть его объём и форму, что особенно важно при съёмке рельефа с мягкими очертаниями (рис. 3.3.6).



Рис. 3.3.6. Съёмка при переднем боковом освещении

Встречный направленный свет (контражур) выделит только силуэт объекта. Получить какие-либо детали изображения затенённых участков в этом случае можно, если выбрать точечный способ замера экспозиции и снимать, расположив объект в центре кадра. Тогда экспозиция будет определена, исходя из освещённости объекта, и его изображение получится более проработанным. При съёмке в таких условиях рекомендуется защитить объектив от прямого попадания солнечных лучей (рис. 3.3.7), надев на него бленду или выбрать точку съёмки так, чтобы Солнце было закрыто объектом.

В заключение следует сказать несколько слов о влиянии характера освещения на выразительность снимка, его художественную ценность, производимое впечатление. Один и тот же пейзаж, сфотографированный в яркий солнечный день или вечером, в условиях сплошной низкой облачности в предгрозовую погоду или при высоких перистых облаках, будет выглядеть на снимках по-разному. Это следует учитывать, выполняя фотосъёмку, например для эстетической оценки ландшафта.



Рис. 3.3.7. Съёмка при встречном направленном освещении

3.4. Выбор установок фотоаппарата для получения изображения высокого качества

Современные цифровые фотоаппараты являются, по сути, специализированными компьютерами для получения фотоизображений. Они облегчают работу пользователей, позволяя выполнять большинство съёмок в автоматическом режиме. Программное обеспечение фотоаппарата определяет значения выдержки, диафрагмы, чувствительности матрицы, необходимые для правильной экспозиции, устанавливает баланс белого, управляет вспышкой и фокусировкой. Фотоаппарат сам выставляет минимально возможную выдержку для уменьшения влияния дрожания камеры при съёмке с рук и минимально возможную чувствительность матрицы для уменьшения шума. Качество получаемых при этом фотографий в большинстве случаев вполне приемлемо для размещения в социальных сетях и семейных альбомах.

Однако в некоторых случаях такие установки не обеспечивают получения необходимого результата. Например, при съёмке быстро протекающих процессов требуются очень короткие выдержки, которые возможно получить, лишь увеличивая чувствительность матрицы, идя при этом и на увеличение «шумности» изображения. А при съёмке объектов ближнего плана или пейзажа возникает необходимость изменить стандартный способ замера экспозиции, выставить определённые значения диафрагмы. Чтобы избавить пользователя от таких рутинных действий, в современных фотоаппаратах предлагается набор предустановленных сценариев съёмки, так называемые «сцены» – спорт, пейзаж, портрет и другие, в программе которых подбором определённых параметров уже учтены отличия от стандартных методов съёмки.

Для пользователей, желающих самостоятельно определять параметры фотографирования, производители предусмотрели в фотоаппаратах полуавтоматические и полностью ручной режимы съёмки. Рассмотрим некоторые часто встречающиеся ситуации, когда удобно пользоваться такими установками.

Выбор фокусного расстояния возможен при любом режиме съёмки. Величина фокусного расстояния является важной установкой, влияющей как на выразительность снимка, так и на детальность изображения. По мере увеличения фокусного расстояния увеличивается масштаб снимка, но одновременно уменьшается территориальный охват, поле зрения объектива и линейная перспектива. Разница в масштабах изображения объектов переднего и заднего планов становится менее заметной, и при рассматривании таких снимков не возникает ощущения глубины пространства, свойственного снимкам, полученным с коротким фокусом.

Обычно при включении камеры выставляется самое короткое фокусное расстояние. И часто из-за желания быстрее сделать снимок начинают съёмку не меняя фокусного расстояния. В результате такой торопливости на портретных снимках нередко можно наблюдать преувеличенные размеры носа, при съёмке в полный рост – непропорциональные части тела, неоправданные искажения по углам снимка. Чтобы избежать подобных эффектов, необходимо, несмотря на большее время подготовки к съёмке, пользоваться богатыми возможностями объективов с переменным фокусным расстоянием.

Съёмка при искусственном или смешанном типе освещения. На фотографиях, сделанных в таких условиях в автоматическом режиме съёмки, можно наблюдать искажения цветов: например, белая поверхность может быть жёлтой, зеленоватой, с синевой или иметь другой оттенок. Чтобы не допустить искажений цвета объектов, фотоаппарат следует «научить» правильной цветопередаче, установив пользовательский баланс белого. Вся процедура сводится к определению поверхности, принимаемой за белую, и сохранению этой настройки в программе фотоаппарата. При съёмке в полевых условиях такой режим может пригодиться, если требуется точная передача цвета объекта, например почвенных разрезов или выходов горных пород.

Съёмка с выбранной диафрагмой. В некоторых случаях, когда требуется сохранить постоянную глубину резкости при съёмке или, например при макросъёмке, удобно перевести фотоаппарат в режим приоритета диафрагмы, при котором выдержку он будет определять автоматически.

Съёмка с выбранной выдержкой предпочтительна, в частности, для фиксации быстро протекающих процессов или быстро перемещающихся объектов, когда необходимо использовать короткие выдержки. Для этого фотоаппарат переводится в режим приоритета выдержки, при котором время выдержки выставляется вручную, к примеру 1/2000 секунды, если нужно снять птицу в полёте или колышущиеся на ветру стебли растений, или 1/30 секунды – при фотографировании движущейся воды, которая при стандартном режиме съёмки из-за короткой выдержки может выглядеть неестественно застывшей или «стеклянной».

Съёмка в ручном режиме с фиксацией экспозиционных параметров. Примером может служить съёмка панорамы, которая, по существу, является одним большим кадром, составленным из нескольких, отснятых один за другим. Делая такой ряд снимков, необходимо выдерживать

постоянные экспозиционные параметры, для чего желательно перевести фотоаппарат в ручной режим, позволяющий зафиксировать диафрагму и выдержку. Выбрав ключевой кадр панорамы и выставив необходимые экспозиционные параметры, можно снимать панораму.

Съёмка в режиме «Автоматический брекетинг». Программы современных фотоаппаратов позволяют делать то, что раньше могло быть осуществлено только в результате внешней обработки. Например – получение *HDR*-снимков с расширенным динамическим диапазоном. В этом режиме камера автоматически меняет экспозицию в установленном диапазоне, снимая три кадра с тем же интервалом, что и при серийной съёмке, в следующем порядке: со стандартной экспозицией, с недодержкой и с передержкой. Для съёмки рекомендуется использовать штатив.

Задание максимально возможной выдержки без поднятия чувствительности матрицы. Для получения минимального уровня шума на снимках всегда надо стараться использовать низкий уровень чувствительности матрицы. Но в условиях малой освещённости приходится увеличивать выдержку, и в какой-то момент, чтобы предотвратить появление неизбежного при больших выдержках смаза изображения, программа фотоаппарата автоматически начинает поднимать чувствительность матрицы, что происходит обычно при достижении выдержки в 1/30 секунды. В некоторых моделях можно повысить предел выдержки, например до 1/15 секунды, и тем самым избежать излишнего поднятия уровня чувствительности матрицы. Потребность в этом может возникнуть в ситуации, когда использование вспышки нежелательно или невозможно, например при съёмке удалённых объектов, находящихся вне досягаемости вспышки.

Задание в ручном режиме уровня чувствительности матрицы может потребоваться, если нужно получить снимок с определённым уровнем шума. Бывают случаи, когда программа фотоаппарата решает установить высокую чувствительность. Поскольку качество получаемых снимков при высокой чувствительности будет невысоким, возникает необходимость запретить это повышение. В настройках фотоаппарата есть возможность поставить максимальный уровень чувствительности, который программа фотоаппарата превышать не будет.

Ручной выбор режима экспозамера. При съёмке в полевых условиях достаточно распространена ситуация, когда возможность выбора точки съёмки по тем или иным причинам ограничена, а объект съёмки сильно контрастирует с фоном. Подобные обстоятельства могут возникнуть, например во время съёмки в лесу при ярком солнечном свете и глубоких тенях или при контровом освещении объекта, когда источник света расположен позади объекта. В таком случае имеет смысл выбрать вместо зонального экспозамера, стоящего по умолчанию в большинстве камер, точечный экспозамер, выбрав в качестве центральной точки фотографируемый объект. Это позволит избежать ситуации, когда сфотографированный объект на снимке получается тёмной тенью на прекрасно проработанном фоне.

Запись снимка в формате RAW. После нажатия на кнопку «Пуск» программа фотоаппарата начинает обрабатывать данные с матрицы: снимок получает цветопередачу, заданную при съёмке, и параметры контурной резкости, контрастности, насыщенности и некоторые другие, заложенные в программе. Для получения наилучшего качества снимка в фотоаппарате имеется возможность переопределить эти параметры: устанавливается режим сохранения снимка в специальном формате, называемом *RAW*, который представляет собой запись снимка без обработки внутренней программой фотокамеры. Необходимую обработку можно производить в дальнейшем на компьютере при наличии специального программного обеспечения. При этом есть возможность сохранить на снимке нюансы изображения, которое при стандартной обработке могут быть потеряны, например, уточнить цветопередачу.

При съёмке перемещающихся объектов удобно использовать режим фокусировки, когда сам фотоаппарат отслеживает перемещение объекта и подстраивает фокус. Называются такие режимы *AI Servo* или *AF-continuous*, в отличие от *One Shot* или *AF-single*, которые оптимизированы для съёмки неподвижных объектов.

При быстро протекающих процессах, когда сложно сфотографировать ситуацию в нужный момент времени, на помощь приходит серийная съёмка. Современные фотоаппараты обеспечивают съёмку с полным форматом кадра до 60 раз в секунду.

Влиять на качество снимков также возможно, используя дополнительные элементы для объектива, такие как светофильтры и бленды (см. раздел 2.2). Из всего многообразия светофильтров чаще используются три вида: поляризационные, градиентные и ультрафиолетовые.

3.5. Выбор вида съёмки.

Средствами традиционной цифровой фотосъёмки не всегда удаётся получить фотографии, которые соответствуют требованиям того или иного вида географических исследований. В этом случае используют специальные виды съёмки.

Панорамная съёмка используется при изучении протяженных объектов.

Стереofотосъёмку применяют для исследования форм природных и антропогенных объектов.

Макросъёмка или *фотосъёмка с близкого расстояния* необходима, когда требуется получить изображение мельчайших деталей объекта в масштабе 1:1 и крупнее.

Фотосъёмку длиннофокусным объективом используют для получения фотографий удалённых объектов.

Фотосъёмка с использованием светофильтров различных типов (*поляризационного, нейтрального градиентного, защитного*) позволяет избавиться от бликов и отражений, выровнять экспозицию по полю кадра при съёмке пейзажей с присутствием в кадре неба и земли.

Замедленная (интервальная или цейтраферная) съёмка применяется для исследования медленно протекающих процессов или медленно перемещающихся объектов, противоположная ей *ускоренная* (скоростная или рапидная) – быстро протекающих процессов или быстро перемещающихся объектов

Некоторые из этих видов съемок давно и успешно используются, другие, пока не нашли широкого применения в географии, но со временем благодаря быстрому развитию техники безусловно займут достойное место в арсенале методов географических исследований.

3.6. Документирование фотосъёмки

Как и любой другой фактический материал, полученный при полевых географических исследованиях, фотоматериалы должны быть снабжены описанием условий и методов их получения. В такое описание рекомендуется включить информацию о снимаемом объекте, месте и времени проведения фотосъёмки, условиях освещения, технических параметрах съёмки. Эти сведения не только позволят правильно оценить и использовать полученные снимки, но и помогут обеспечить сопоставимость материалов при повторной съёмке объекта, если планируется изучение его динамики.

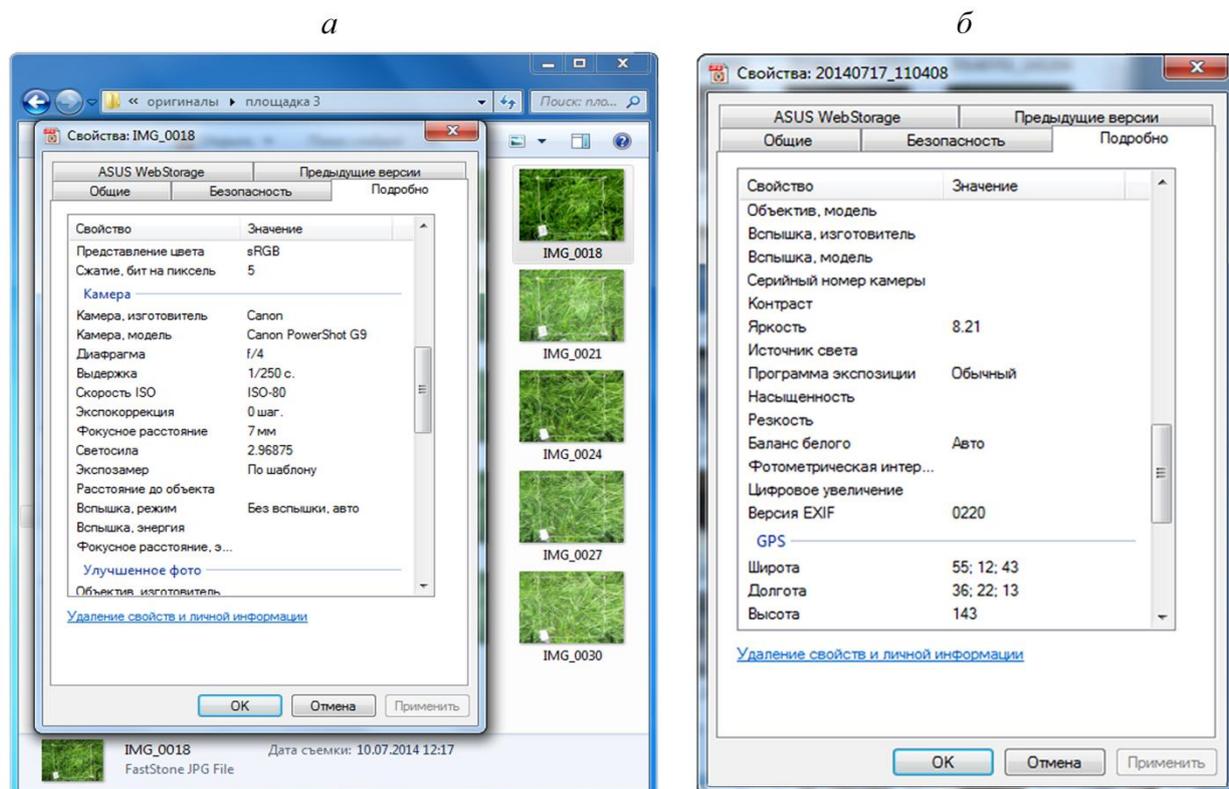


Рис. 3.6.1. а – Exif-информация, б – Exif-информация с данными GPS

Что касается технических характеристик, то большинство современных цифровых фотокамер записывает параметры съёмки в файлы изображений в виде метаданных. Для записи метаданных в

настоящее время используется стандарт универсальных заголовков файлов *EXIF* (*Exchangeable Image File Format*) (рис. 3.6.1-а), который позволяет сохранять расширенный объём информации: сведения о производителе и модели камеры, параметрах съёмки (название камеры, дата съёмки, настройки фотоаппарата: выдержка, диафрагма, *ISO*, использование вспышки, разрешение кадра, фокусное расстояние) и другие сведения (размер матрицы, эквивалентное фокусное расстояние, географические координаты (рис. 3.6.1-б) или снятый с цифровых карт адрес места съёмки, если камерой предусмотрено использование данных *GPS*).

Дополнительные данные о съёмке		
Имя файла	<i>IMG_0020</i>	
Местоположение объекта	<i>вершина Бутовского холма</i>	
Описание объекта	<i>почвенный разрез</i>	
Дата	<i>18.07.2013</i>	
Время съёмки	<i>10:50</i>	
Погодные условия	облачность	<i>кучевые облака, переменная облачность ≈20%</i>
	ветер	<i>переменный</i>
	осадки	<i>—</i>
Характер освещения	<i>преимущественно рассеянное (солнце проглядывает сквозь облака)</i>	
Положение солнца относительно направления съёмки	<i>заднее боковое, солнце справа (около 70° к направлению съёмки)</i>	
Соответствие цветов на снимке естественным цветам в момент съёмки	<i>цвета серовато-коричневые, близки к естественным</i>	
Размер объекта, м	<i>длина 1,2-1,5м, ширина 0,7 м, глубина -</i>	
Расстояние до ближнего плана	<i>1,2 м</i>	
Расстояние до дальнего плана	<i>—</i>	
Направление съёмки	<i>по горизонтали: под углом 90° к пл-ти разреза; по вертикали: под углом 30° ниже линии горизонта</i>	
Требуемая ГРИП	<i>несколько см</i>	
штатив	<i>+</i>	
светофильтр	<i>—</i>	
другое	<i>—</i>	

Рис. 3.6.2. Пример таблицы с информацией о съёмке

Метаданные доступны для просмотра пользователем и прочтения различными программами, устройствами обработки и печати цифровых снимков. Просмотр и редактирование *EXIF*-информации выполняется в специальной свободно распространяемой программе, в большинстве

графических редакторов, а также *Total Commander* или *Windows*. Для просмотра *EXIF* нужно, пометить требуемый файл и выбрать из выпадающего меню «свойства» файла. По желанию автора информация может дополняться в виде комментариев или удаляться из файла.

Помимо перечисленных технических характеристик в описание материалов фотосъёмки географических объектов рекомендуется включать и другие данные: краткое описание объекта и места съёмки, условий освещения и точки съёмки, расстояние до объекта, тип использованных светофильтров и другую информацию, связанную с видом какой-либо специальной съёмки. Лучше всего организовать такие данные в виде таблицы, где можно указать и параметры съёмки, на случай, если цифровая информация не сохранится (рис 3.6.2).

Безусловно, эти данные не только нужны при анализе полученных материалов и исследовании сфотографированного объекта, но и пригодятся при выборе условий и технических параметров съёмки объектов подобного типа.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Беленький А. И.* Фотосъёмка в сложных условиях. С-Пб.: Питер, 2012.
2. *Валюс Н. А.* Стереодография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986.
3. *Иванов-Аллилуев С. К.* Фотосъёмка пейзажа. М.: Искусство, 1971.
4. *Келби С.* Цифровая фотография. Том 1. М.: Вильямс, 2014.
5. *Килпатрик Д.* Свет и освещение. М.: Мир, 1988.
6. *Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В.* Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Издательский центр «Академия», 2011.
7. *Книжников Ю. Ф., Вахнина О. В., Харьковец Е. Г., Ильясов А. К., Евстратова Л. Г., Шахмина М. С.* Трёхмерное аэрокосмическое моделирование: Учебное пособие / Под редакцией Ю. Ф. Книжникова. М.: Географический факультет МГУ, 2011.
8. *Краткий справочник фотолобителя.* Сост. и общ. ред. Н. Д. Панфилова и А. А. Фомина. – М.: Искусство, 1985.
9. *Лабутина И. А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: АСПЕКТ ПРЕСС, 2004.
10. *Найтингейл Д.* Экспозиция: современные приёмы креативной цифровой фотографии / Дэвид Найттингейл (пер. с англ. Т. Новиковой). М.: Эксмо, 2011.
11. *Нисский А. В.* Замедленная киносъёмка // Фотокинетика: Энциклопедия / Главный редактор Е. А. Иофис. М.: Советская энциклопедия, 1981.
12. *Покадровая киносъёмка* // Фотокинетика: Энциклопедия / Главный редактор Е. А. Иофис. М.: Советская энциклопедия, 1981.
13. *Толчельников Ю. С.* Оптические свойства ландшафта. Л.: Наука, 1974.
14. *Фивенский Ю. И., Наумкин М. К.* Аэрокосмическая фотография. М.: Изд-во МГУ, 1987.
15. *Фомин А. В.* Общий курс фотографии. М.: Легпромбытиздат, 1987.
16. *Цейтрайферная киносъёмка* // Фотокинетика: Энциклопедия / Главный редактор Е. А. Иофис. М.: Советская энциклопедия, 1981.
17. *Яштолд-Говорко В. А.* Фотосъёмка и обработка. Съёмка, формулы, термины, рецепты. М., Искусство, 1977.

УДК 910.2 : 778.3 : 778.4
ББК (Ж/О)37.941
Ц75

О. В. Вахнина, С. Г. Нечелюстов, Е. Г. Харьковец, Е. Р. Чалова
ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАФИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ – ГЕОГРАФОВ: Учебное
пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2016. – 53 МБ (92 с.)

Подписано к использованию: 12.07.2016

Объём издания 53 МБ. Тираж 20 экз.

Комплектация издания: 1 CD-диск

199991, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, географический факультет

Редактор В. А. Стряпчий

Компьютерная вёрстка – О. В. Вахнина

Географический факультет МГУ
Москва 2016

© Коллектив авторов, 2016

ISBN 978-5-89575-233-3

© Географический факультет МГУ, 2016

