

УДК 56.072

НОВЫЙ МЕТОД ЦИФРОВОГО ОТБЕЛИВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАКРОФОССИЛИЙ

© 2021 г. Д. Н. Киселев*

Педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Россия

**e-mail: dnkiselev@mail.ru*

Поступила в редакцию 02.11.2020 г.

После доработки 09.11.2020 г.

Принята к публикации 09.11.2020 г.

Новый метод цифрового отбеливания (напыления) изображений макрофоссилий основан на обработке пакета фотографий окаменелости и является разновидностью преобразовательной фотограмметрии. Он не требует создания трехмерных моделей, использования специализированных и дорогостоящих ресурсов, отличается технической простотой и высокой скоростью получения отбеленного изображения. Он апробирован в изображении крупных и средних макрофоссилий, но может применяться и при фотографировании мелких окаменелостей, в том числе и микрофоссилий.

Ключевые слова: цифровое отбеливание, напыление, фотограмметрия, аммониты

DOI: 10.31857/S0031031X21040073

ВВЕДЕНИЕ

В практике создания палеонтологических описаний и фотографирования макрофоссилий широко используется метод напыления или отбеливания (whitening), который позволяет создать изображения экземпляров с однородной окраской. Благодаря этому удается наилучшим образом показать форму и рельеф поверхности изображаемого образца и лимитировать неоднородности ее текстуры и отражательной способности фоссилии. В настоящее время применяется несколько методик отбеливания, объединяемые в две группы – химические и цифровые. При химическом напылении образец макрофоссилии покрывается тонким налетом оксида магния или хлорида аммония, который дает относительно равномерную белую окраску по всей поверхности напыления (Teichert, 1947; Kier et al., 1965; Feldmann, 1989; Parsley et al., 2018). Основное преимущество такого метода – высокая скорость подготовки оригинала для фотографирования. К недостаткам относится зависимость исследователя от реактивов и оборудования, наличия специальных условий для напыления и помещения с вытяжкой. Также химический метод не годится для напыления крупных экземпляров (размером более 30 см), поскольку он не дает эффективную равномерную окраску поверхности. И, наконец, химическое напыление попросту загрязняет поверхность фоссилии, поэтому оно не всегда может быть применено, в особенности для номенклатурных типов с плохой сохранностью.

Цифровые способы отбеливания (whitening), заменяющие собой химическое напыление образцов, основаны на создании трехмерных моделей с помощью разнообразных методов: лазерного сканирования (Bates et al., 2010), фотограмметрии (Breithaupt, Matthews, 2001; Falkingham, 2012 и др.), полиномиального наложения текстуры (polynomial texture mapping, PTM) (Hammer, Sposcova, 2013). Общей особенностью этих методов является создание цифровой 3-D модели путем лазерного сканирования образца или наложения серии фотографий. Последние могут быть получены при фотографировании из разных положений фотокамеры вокруг образца или при стационарном положении фотокамеры, но с различным положением источников освещения. Не вдаваясь глубоко в сравнительный анализ этих методов, отметим, что они имеют ряд существенных недостатков, не позволяющих эффективно проводить массовое фотографирование образцов с цифровым отбеливанием. Это связано с тем, что методы трехмерного моделирования с высоким разрешением технически громоздки, поскольку требуют дорогостоящих стационарного оборудования и программного обеспечения (при лазерном сканировании или томографии) и (или) весьма трудоемки на всех этапах создания трехмерного файла, включая постобработку. Так, для получения готового изображения с цифровым осветлением методом фотограмметрии требуется от 24 до 207 фотографий объекта (в среднем 41–68), а процесс получения 3-D модели может занимать до 40 минут (Falkingham, 2012). PTM-метод более оперативен в постобработке, но также требует получения

большого числа фотоизображений (не менее 50) для создания качественной трехмерной модели (Hammer, Sprosova, 2013). Следует признать, что вышеперечисленные методы мало оперативны, требуют много времени (или на начальном этапе, или во время постобработки), что не позволяет их использовать в ситуации, когда необходимо обработать большую выборку экземпляров в сжатые сроки.

Описываемый в настоящей работе метод позволяет получить изображение окаменелости с цифровым отбеливанием за более короткий срок, поскольку требует лишь минимальных временных и технических затрат на начальной стадии его создания. Это связано с тем, что новый метод не нуждается в программном создании трехмерной модели образца. Он, как и РТМ-метод, основан на наложении текстур, но отличается на стадии постобработки.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Новый метод включает два этапа — начальный и постобработки.

Начальный этап состоит в создании комплекта фотоизображений экземпляра окаменелости, предназначенного для последующей обработки. Для фотографирования подходит цифровая фотокамера с любым разрешением, фотоштатив и мобильный источник освещения любого уровня (от настольной лампы до профессиональных фотоосветителей). Фотографирование макрофоссилий производится на ровном фоне из стационарного положения фотокамеры, изменяется только положение осветителя. Спуск затвора производится при полной неподвижности фотокамеры с помощью пульта, фототросика или с задержкой спуска. Для конечного изображения с цифровым отбеливанием одного образца необходимо создание нескольких (2–10) фотографий любого формата (raw, tif, jpeg) с разным освещением.

Этап постобработки производится в любом редакторе растровой графики, где возможна работа с несколькими слоями (в данной работе вся последовательность обработки показана на примере Adobe Photoshop). Цифровое отбеливание завершается на этом этапе, производится вручную и включает в себя следующие стадии:

1. *Создание слоев.* Все фотографии, полученные с разным освещением, объединяются в многослойный файл, в котором число слоев соответствует числу фотографий. В качестве первого (нижнего) слоя необходимо использовать фотоизображение, которое наилучшим образом отражает рельеф экземпляра. Фотографии из нижних слоев служат основой, или матрицей для цифрового отбеливания, а из верхних — используются как текстурный материал для наложения.

2. *Очистка фона.* Прежде чем отбеливать изображение, необходимо произвести очистку фона

до белого цвета, поскольку при последующем наложении текстур граница между фоном и изображением образца становится неотчетливой. В редакторе Adobe Photoshop это производится автоматическим выделителем (инструмент magic wand tool) с чувствительностью от 10 до 30. Для полного выделения фона достаточно выделить освещенные участки фона на нескольких слоях (они располагаются в разных местах фона при различном положении осветителя) при нажатой клавише Shift. При автоматическом выделении нередко сохраняются мелкие детали контура, обусловленные разными причинами (загрязнение фона, микрорельеф, зависящий от сохранности образца, и др.), поэтому после полного выделения фона желательно произвести сглаживание контура (алгоритм Select—Modify—Smooth, с радиусом 1–6).

3. *Сохранение многослойного файла* в формате psd. Он состоит из нескольких фотографий образца с обрезанным фоном. В дальнейшем этот файл может использоваться для создания нескольких вариантов цифрового отбеливания.

4. *Регулировка инверсий.* Все или большинство фотографий, кроме выбранной в качестве основы для отбеливания, поочередно инвертируются (алгоритм Image—Adjustment—Invert) до состояния негатива, при этом после инвертирования очередного слоя необходимо увеличить его прозрачность (опция Opacity на панели слоев) до нескольких процентов. Норма прозрачности определяется количеством слоев: чем больше слоев, тем выше прозрачность. Тем не менее, прозрачность каждого слоя может быть неравномерной и регулируется опытным путем для создания более выразительного изображения формы и рельефа поверхности образца. На таком изображении не должно быть заметно текстуры исходной, неотбеленной, поверхности образца. В среднем, величина прозрачности каждого слоя в файле из 10 слоев составляет 3–9%, а в файле из трех слоев — 20–30%. После инвертирования очередного слоя изображение становится все более серым и в конце операции должно стать максимально серым. Результат следует сохранить отдельным файлом в формате tif или jpeg. Все последующие операции производятся с этими файлами.

5. *Полное отбеливание.* Сохраненные изображения, полученные в результате регулировки инверсий, имеют цвет, близкий к серому, но сохраняют спектральные цвета в разных его частях. Для полного отбеливания необходимо перевести изображение в серую гамму. Простейшими способами перевода в серый цвет являются алгоритм смены цветового режима Image—Mode—Grayscale или алгоритм обесцвечивания Image—Adjustment—Desaturate. Для получения отбеленного изображения с более качественной проработкой рельефа лучше использовать алгоритм обесцвечивания с обработкой тона/насыщенности: Image—

Adjustment—Hue/Saturation. В последнем случае (опция Hue/Saturation) необходимо понижать насыщенность каждого цвета (красного, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового) по отдельности через изменение яркости (Lightness) путем осветления или затемнения. Это достигается опытным путем до создания нужного эффекта, при котором полностью исчезает текстура, не связанная с рельефом поверхности образца. Полученное изображение является полностью отбеленным и может быть в дальнейшем доведено до нужного состояния яркости и контраста в том же редакторе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим результаты цифрового напыления на примере аммонитов.

Первый пример — образец с матовой поверхностью: аммонит *Kosmoceras medea* Callomon, средний келловей г. Елатьма. Экземпляр представлен келловой жилой камерой, заполненной карбонатным песчаником, и фрагментом, сохранившим раковинный слой. Для создания изображения с цифровым напылением сделано две фотографии без отбеливания с разным освещением — боковым (рис. 1, а) и фронтальным (рис. 1, б). Первая фотография послужила матрицей для отбеливания, вторая — текстурой с инвертированием и регулировкой инверсии (прозрачность 42%). Первичный результат отбеливания представлен изображением желтовато-серого цвета с повышенным содержанием синего в тени (рис. 1, в). Конечный результат получен преобразованием предыдущего через алгоритм обесцвечивания с обработкой тона/насыщенности (опция Hue/Saturation) (рис. 1, г). Это наиболее простой и благоприятный для отбеливания случай, потребовавший минимальное число операций и около двух—трех минут чистого времени на фотосъемку и постобработку.

Второй пример — образец с глянцевой поверхностью: *Funiferites patruus* (Eichwald) emend. Nikitin, верхний келловей разреза у д. Горенка. Экземпляр представлен пиритизированным фрагментом, сохранившим раковинный слой. Этот более сложный для отбеливания случай потребовал создания 11 фотографий (рис. 2), из которых первые три (рис. 2, а—в) послужили матрицей для отбеливания, остальные (рис. 2, г—л) использованы как инвертированные текстуры с прозрачностью 9—10%. Первичный результат отбеливания представлен красновато-серым изображением со слабыми бликами и повышенным содержанием синего в тени (рис. 2, м). При полном отбеливании блики и оттенки спектральных цветов удалены с помощью обесцвечивания с обработкой тона/насыщенности (рис. 2, н). Для создания окончательного результата было потрачено, в общей сложности, около шести минут.

ОБСУЖДЕНИЕ

Положительными особенностями данного метода являются:

1. Относительная простота начального этапа. Метод не требует большого количества фотографий образца из одного положения, поэтому экономит время, увеличивает производительность работы с коллекциями и дает возможность обработки массового материала, что особенно удобно в форс-мажорных обстоятельствах. Качественный результат методика часто дает при минимальном количестве фотографий с разным освещением (три, а иногда даже две). Оптимальное число фотографий из одного ракурса находится в интервале 6—8 и только в сложных случаях (при особой сохранности фоссилии) требуется больший объем фотографий (до 10—15). Создание пакета фотографий для одного экземпляра занимает чаще всего не больше минуты.

2. Метод не требователен к технике и узкопрофильному программному обеспечению, как на начальной стадии, так и на стадии постобработки. Он не нуждается в специальном помещении и может быть применен даже в крайне неудобных условиях.

3. Высокая пластичность при постобработке, что позволяет создать несколько вариантов отбеливания, в результате чего на изображении может проявиться различный рельеф поверхности образца. В качестве матрицы отбеливания может быть использовано любое фотоизображение с разным освещением, которое при необходимости перемещается в основание многослойного файла. В отдельных случаях матрица может быть создана при наложении нескольких фотографий с разным, но различным освещением, благодаря чему в рельефе поверхности проявятся детали, не заметные при одностороннем освещении.

4. Потенциальный размер образца может быть любым — от самых крупных (до нескольких метров), до очень мелких (меньше миллиметра). Метод может быть использован даже при изображении микрофоссилий, полученных под световым микроскопом или биноклем.

5. Качество изображения зависит только от разрешения матрицы цифрового фотоаппарата, которым пользуется исследователь, поэтому может быть любым, в том числе очень высоким.

К недостаткам метода можно отнести:

1. Отсутствие автоматизма в постобработке, что отличает новый метод от других способов цифрового отбеливания. Этап постобработки требует навыка обработки растровой графики в графических фоторедакторах, а описанная выше работа со слоями требует самообучения и экспериментирования. Тем не менее, в случае овладения всеми навыками постобработки, цифровое отбеливание одного образца редко занимает интервал времени больше 10 минут.



Рис. 1. Результат цифрового отбеливания фотографии *Kosmoceras medea* Callomon на основе матрицы отбеливания (а) и текстурной фотографии (б): в — результат отбеливания без обесцвечивания, г — полностью отбеленное изображение.

2. Метод чувствителен к микрорельефу и отражательной способности поверхности образца. Лучше всего для фотографирования подходят экземпляры с матовой поверхностью, которые требуют минимального числа фотографий и слоев при создании отбеленных изображений, что, как следствие, экономит время. Образцы фоссилий с глянцевой поверхностью на фотографиях образуют блики, которые необходимо устранять при по-

стоработке. Для таких экземпляров на начальном этапе необходимо создание большего числа фотографий (и, соответственно, слоев при постобработке), чем для образцов с матовой поверхностью. Это необходимо, чтобы сформировать сложную матрицу отбеливания из нескольких слоев, наложение которых в режиме контролируемой прозрачности позволяет устранить блики на каждом фотоизображении. Такая работа при по-

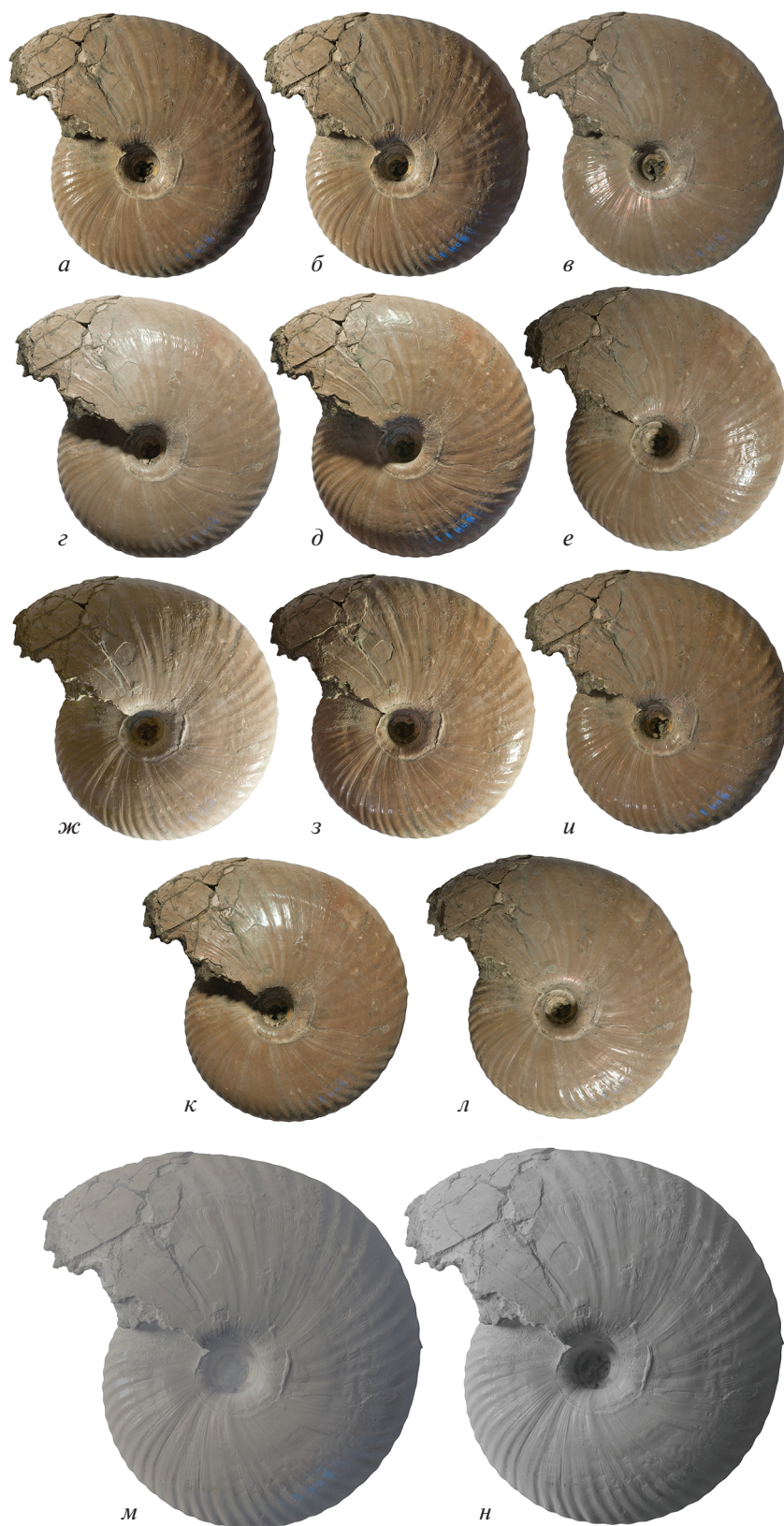


Рис. 2. Результат цифрового отбеливания фотографий *Funiferites patruus* (Eichwald) emend. Nikitin на основе матрицы отбеливания из трех фотографий (а–е) и текстурных фотографий (г–л): м – результат отбеливания без обесцвечивания, н – полностью отбеленное изображение.

Таблица 1. Время, затраченное на обработку фотографий для создания изображения с цифровым напылением одного образца (в секундах) в зависимости от количества слоев и сложности обработки

Этапы и стадии цифрового напыления		Количество фотоизображений (матрица + текстурные слои)						
		2	3	4	5	6	7	8
<i>Начальный этап</i>		10	15	20	25	30	35	40
<i>Создание слоев</i>		5	10	15	20	25	30	35
<i>Очистка фона</i>		5	10	15	20	25	30	35
<i>Сохранение многослойного файла</i>		5	5	5	5	5	5	5
<i>Регулировка инверсий</i>		10	20	30	40	50	60	70
<i>Полное отбеливание</i>		60	60	60	60	60	60	60
Сумма затраченного времени	с	97	123	149	175	201	227	253
	мин	1.6	2	2.5	3	3.5	3.8	4.2

сто обработке также требует опыта и не может быть произведена автоматически.

Общее время, затраченное на отбеливание по данному методу (включая начальный этап и постобработку), может занимать от 5 до 40 минут на один образец. Это время зависит от количества созданных фотографий на начальном этапе и уровня владения исследователя данным методом. При полном владении методом время создания изображения с цифровым напылением одного образца с матовой поверхностью может составлять от 1.6 до 5 мин (табл. 1).

В сложных условиях, например, при отбеливании изображений образцов с глянцевой поверхностью, время обработки может увеличиться за счет дополнительных операций.

Данный метод можно считать разновидностью фотограмметрии на двухмерном уровне (2-D), что отличает его от других методик на основе построения 3-D моделей. Он используется уже несколько лет для изображения фоссилий в палеонтологических и биостратиграфических работах автора и апробирован на аммонитах различной сохранности и размера, от мелкоразмерных (Kiselev, Rogov, 2018) до гигантских (Киселев, Рогов, 2018).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 18-05-01070).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kiselev D.N., Rogov M.A. Аммониты и стратиграфия терминальной части средневожского подъяруса верхней юры (зона *Eprvirgatites nikitini* и ее аналоги) Панбореальной надобласти. Статья 2. Titanites и Glaucolithites // Стратигр. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 1. С. 34–82.
- Hammer Ø., Spocova J. Virtual whitening of fossils using polynomial texture mapping // *Palaeontol. Electronica*. 2013. V. 16. I. 2. 10 p.
- Falkingham P.L. Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software // *Palaeontol. Electronica*. 2012. V. 15. I. 1. 15 p.
- Feldmann R.M. Whitening fossils for photographic purposes // *Paleotechniques* / Eds. Feldmann R.M., Chapman R.E., Hannibal J.T. Knoxville, TN, 1989. P. 342–346 (*Paleontol. Soc. Spec. Publ.* № 4).
- Kier P.M., Grant R.E., Yochelson E.L. Whitening fossils // *Handbook of Paleontological Techniques*. San Francisco: W.H. Freeman and Co., 1965. P. 453–456.
- Kiselev D.N., Rogov M.A. Detailed biostratigraphy of the Middle Callovian–lowest Oxfordian in the Mikhaylov reference section (Ryazan region, European part of Russia) by ammonites // *Volumina Jurassica*. 2018. V. 16. P. 73–186.
- Parsley R.L., Lawson M.H., Pojeta J. A practical and historical perspective of the how and why of whitening fossil specimens and casts as a precursor to their photography // *Fossil Imprint*. 2018. V. 74. № 3–4. P. 237–244.
- Teichert C. A simple device for coating fossils with ammonium chloride // *J. Paleontol.* 1947. V. 22. P. 102–104.

The New Method of Digital Whitening of Macrofossil Images

D. N. Kiselev

Ushinsky Pedagogical University, Yaroslavl, Russia

The new method of digital whitening (sputtering) of macrofossil images is based on the processing of a package of photographs of a fossil and is a kind of conversion photogrammetry. It does not form three-dimensional models and to use specialized and expensive resources, is distinguished by its technical simplicity and high speed of obtaining a whitening image. It has been tested in the imaging of large and medium-sized macrofossils, but it can also be used in photographing small fossils, including microfossils.

Keywords: digital whitening, sputtering, photogrammetry, ammonites