ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 495, № 1, с. 53–58

ОКЕАНОЛОГИЯ

УДК 550.8.08

НОВАЯ МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ О ЦВЕТЕ МОРСКИХ ОСАДКОВ

© 2020 г. А. Н. Колесник[1,*], А. А. Босин[1], О. Н. Колесник[1], Е. А. Янченко[1], Ю. П. Василенко[1]

Представлено академиком РАН Г.И. Долгих 23.07.2020 г.
Поступило 24.07.2020 г.
После доработки 12.08.2020 г.
Принято к публикации 13.08.2020 г.

Для такого специфического геологического объекта, как морские осадки, представлена новая максимально объективная методика количественного определения цвета с помощью оригинальной фотоустановки. На примере многочисленных колонок осадков из Тихого и Северного Ледовитого океанов показаны преимущества фотоустановки перед основным цветометрическим прибором – колориметром.

Ключевые слова: цвет, цветометрическая фотоустановка, колориметр, литология, морские осадки, Тихий океан, Северный Ледовитый океан

DOI: 10.31857/S2686739720110079

Описание цвета – общепринятый этап изучения морских осадков и фаций. Это важный признак, который помогает получить первое представление о вещественном составе осадков, среде осадконакопления и ее временной динамике (палеореконструкции), степени и характере постсе-

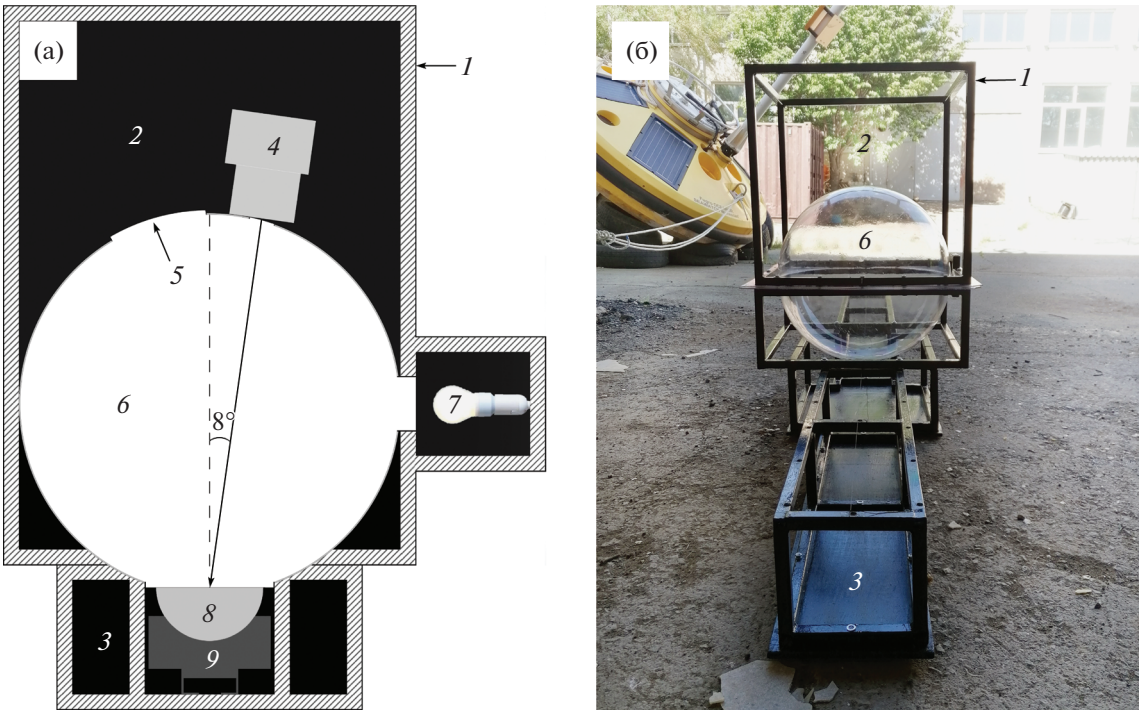


Рис. 1. Конструкция цветометрической фотоустановки: *а* – схема поперечного среза; *б* – общий вид на стадии изготовления. *1* – жесткий каркас; *2* – верхний модуль; *3* – нижний модуль; *4* – фотоаппарат; *5* – отверстие ловушки зеркального блеска; *6* – фотометрический шар; *7* – источник освещения; *8* – образец; *9* – тележка для передвижения образца.

[1] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*
**E-mail: kolesnik_a@poi.dvo.ru*

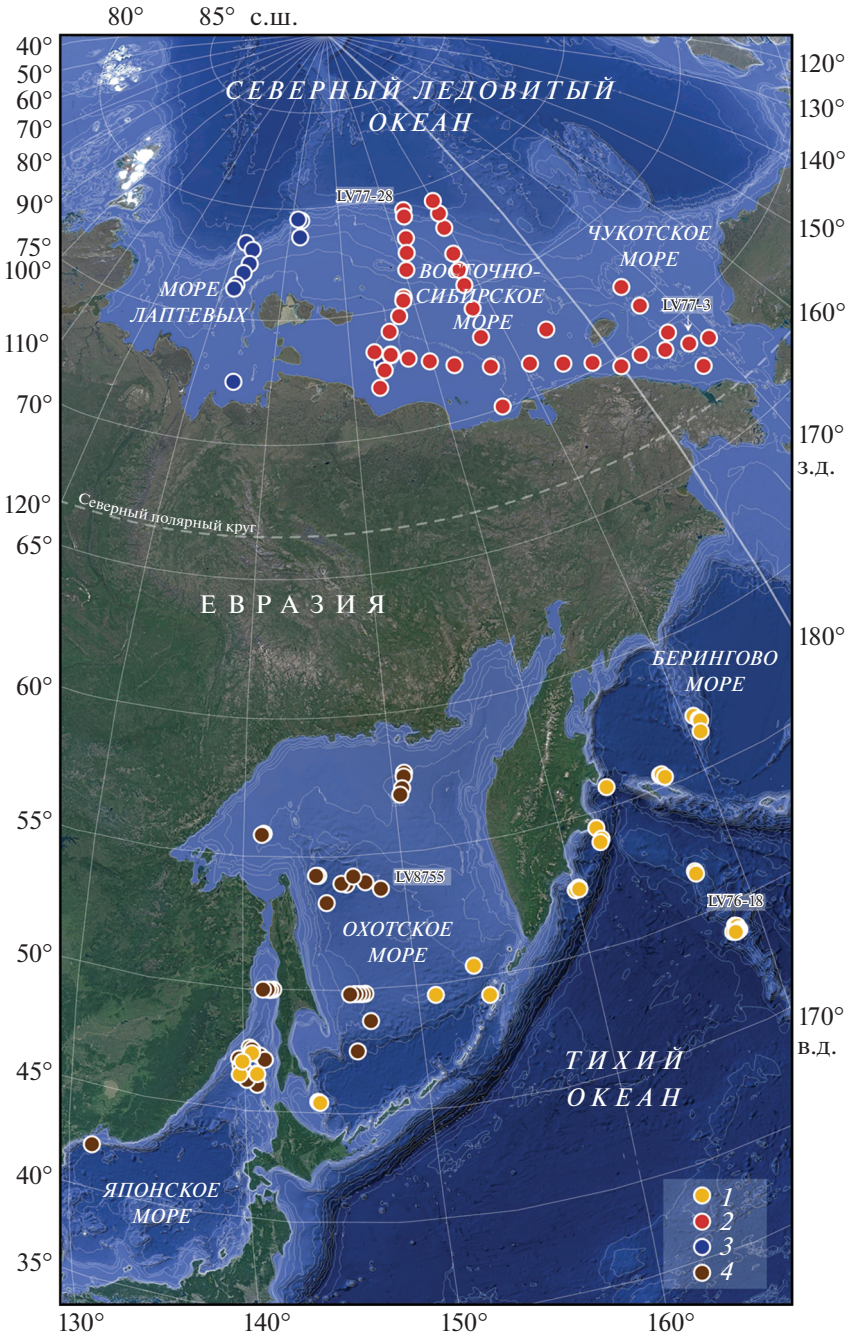


Рис. 2. Карта фактического материала. *1–4* – станции отбора колонок осадков, НИС “Академик М.А. Лаврентьев”: *1* – 76-й рейс (2016 г.); *2* – 77-й рейс (2016 г.); *3* – 83-й рейс (2018 г.); *4* – 87-й рейс (2019 г.). Номера указаны для демонстрационных, подробно изученных колонок.

диментационных изменений [1–3]. Детально изученный на количественном уровне, параметр может быть использован в литостратиграфической корреляции. Однако в его точном фиксировании существует целый ряд трудностей. Прежде всего это быстрые необратимые трансформации цвета в окислительной атмосфере (приблизительно первые полчаса с момента вскрытия пробоотборника), неровная влажная поверхность образцов, часто длинномерных (колонки осадков), отсутствие единых условий цветоопределения. По примеру других наук о Земле в современной океанологии для описания цвета и текстурных особенностей образцов применяют цветовые шкалы, фотоаппараты, колориметры [1–6]. Самыми приемлемыми считаются портативные ко-

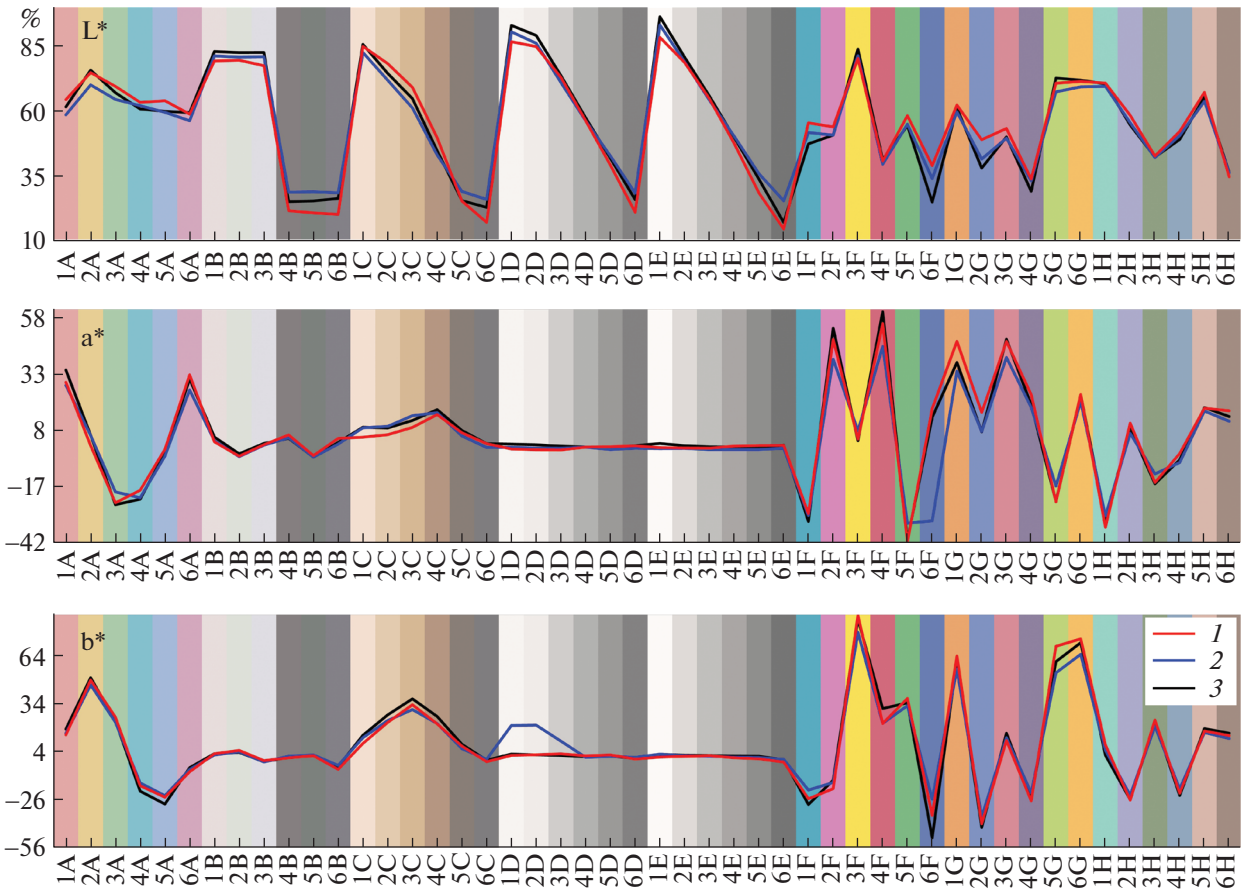
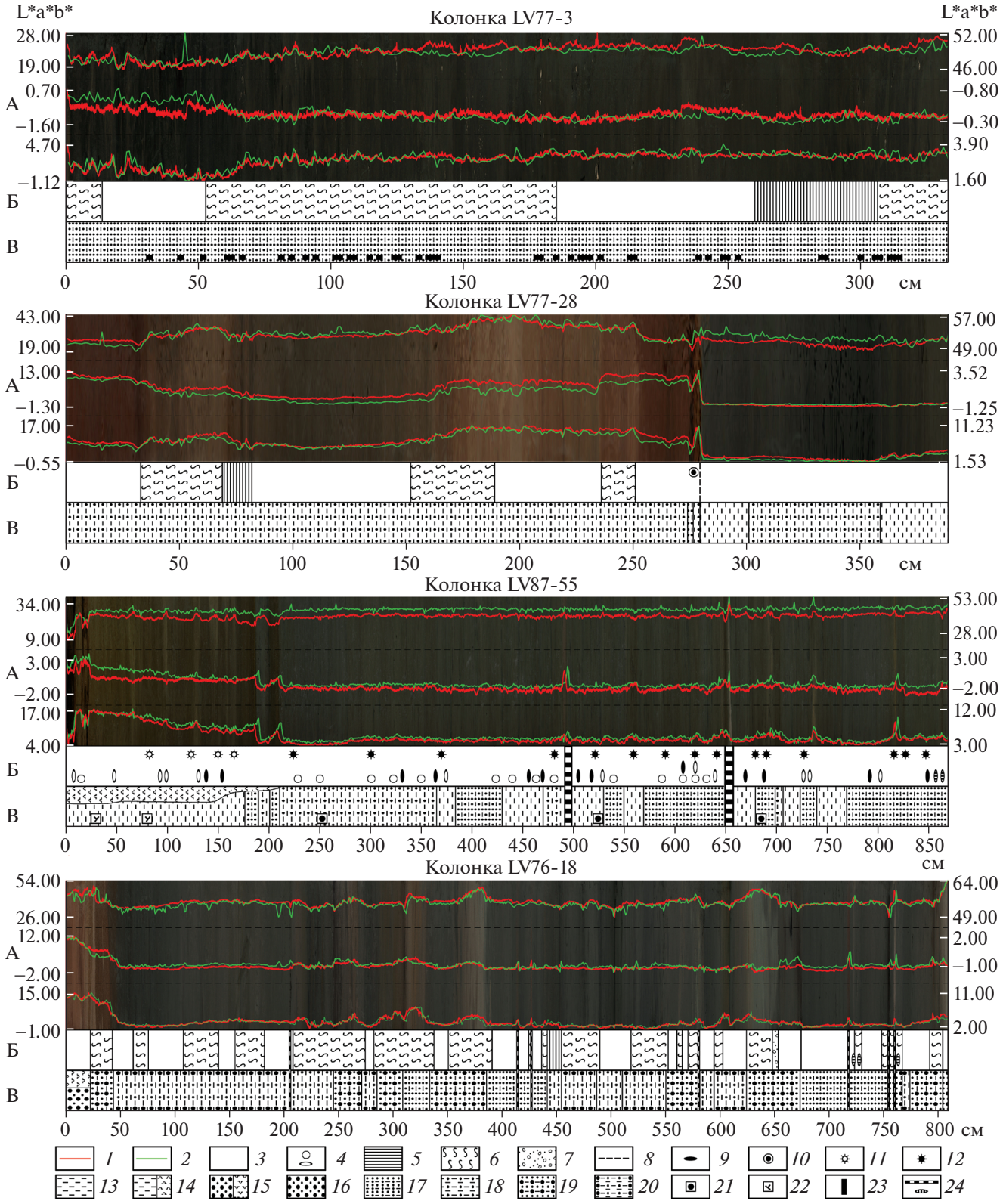


Рис. 3. Различие показаний цветометрической фотоустановки (*1*) и колориметра (*2*) относительно калибровочных шкал цветов 1A–6H (*3*) в системе координат CIE 1976 L*a*b*.

лориметры, но и они имеют недостатки. Действительно, если привлекать для анализа вспомогательные средства (специальные пленки с высоким коэффициентом пропускания света), то в итоге можно получить по-настоящему объективную цифровую информацию о цвете. Тем не менее качеством пленки в основном пренебрегают, используя обычную полиэтиленовую. Таким образом, данные поступают к исследователю в искаженном виде. Из прочих минусов следует отметить широкий (1 см) шаг опробования из-за размера сенсора (обычный диаметр апертуры прибора составляет 8 мм). Как правило, это не позволяет адекватно соотносить данные о цвете с другой информацией, например геохимической, полученной с более высоким разрешением. Точечность анализа не дает также определять в колонках осадков цветовые характеристики микрослойков и других локальных неоднородностей. Колориметры вообще не фиксируют текстурный рисунок осадка.

Цель нашей работы состояла в том, чтобы сконструировать установку для оперативного количественного определения цвета, в которой были бы устранены все перечисленные недостатки, и на конкретных примерах показать эффективность этой установки в экспедиционных условиях.

Оригинальная установка для определения цвета изображена на рис. 1 (далее – цветометрическая фотоустановка). В качестве основного элемента (фотодатчика) было решено использовать полнокадровый цифровой зеркальный фотоаппарат в силу его способности детально запечатлеть не только цвет, но и строение осадка в образце любой длины. В нашем случае задействовалась модель Canon EOS 6D Mark с объективом Canon EF 50mm f/1.2L USM (“Canon”, Япония). Благодаря размещению оптической системы и образца внутри двух жесткосочлененных непрозрачных модулей удалось стандартизировать условия фотосъемки и избежать влияния сторонних источников электромагнитного излучения в диапазоне видимого света. Фотометрический шар для создания диффузного освещения и угловая геометрия D/8 во взаимном расположении фотоаппарата и образца позволили подавить бликовый эффект на влажной поверхности осадка и получить качественное изображение осадочных разрезов со


L*a*b*
Колонка LV77-3
L*a*b*
28.00
19.00
0.70
–1.60
4.70
–1.12
52.00
46.00
–0.80
–0.30
3.90
1.60
А
Б
В
0 50 100 150 200 250 300 см
Колонка LV77-28
43.00
19.00
13.00
–1.30
17.00
–0.55
57.00
49.00
3.52
–1.25
11.23
1.53
А
Б
В
0 50 100 150 200 250 300 350 см
Колонка LV87-55
34.00
9.00
3.00
–2.00
17.00
4.00
53.00
28.00
3.00
–2.00
12.00
3.00
А
Б
В
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 см
Колонка LV76-18
54.00
26.00
12.00
–2.00
15.00
–1.00
64.00
49.00
2.00
–1.00
11.00
2.00
А
Б
В
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 см
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

всеми их текстурами при одной нормальной экспозиции. Источником освещения выступала лампа с коррелированной цветовой температурой 6500 K и индексом цветопередачи CRI > 80%. Использование всего двух пигментов, сульфата бария (эталонный отражатель) и технического углерода (эталонный поглотитель) [7], дало возможность максимально полно донести излучение от источника света до поверхности образца и фотодатчика.

Цветометрическая фотоустановка опробована на обширном материале (97 колонок осадков). Фотосъемка проводилась на борту НИС "Академик М.А. Лаврентьев" в рамках четырех комплексных российско-китайских экспедиций в морях Тихого и Северного Ледовитого океанов (рис. 2). Перед началом работы фотоаппарат проходил обязательную процедуру настройки баланса белого (эталон белого на основе сульфата бария). С помощью калибровочных цветовых шкал (Datacolor, США) создавался уникальный цветовой профиль, который применялся для корректировки цветопередачи объектива на всех этапах исследования. Качество цветопередачи оценивалось по величине ΔE 1976 [8]. В полиграфии значение ΔE 1976 < 4 означает почти полную идентичность двух цветов для большинства наблюдателей. В нашем случае среднее значение ΔE 1976 составило 3.49, медианное – 2.56. Обработка изображений проводилась с помощью программ Adobe Photoshop (Adobe Inc., США) и ImageJ (NIH, США), мы получали количественную информацию о цвете в системе координат CIE 1976 L*a*b*.

Параллельно с фотосъемкой шли измерения на одном из двух колориметров – Konica Minolta CM-700d ("Konica" Minolta Sensing Inc., Япония) либо PCE-CSM 1 (PCE Instruments, Германия); проводилось литологическое описание. Все полученные данные сопоставлялись друг с другом.

На рис. 3 сравниваются показания цвета, снятые с эталонных цветовых шкал при помощи цветометрической фотоустановки и колориметра без пленки (для анализа сухой и чистой поверхности вспомогательные средства не нужны). Кривые L*, a*, b* от двух приборов весьма близки, что говорит об успешной работе фотоустановки; небольшие расхождения можно объяснить отсутствием в конструкции колориметра зеркальной ловушки и погрешностями в настройках баланса белого. Рисунок 4 демонстрирует показания, снятые с колонок осадков в море; при работе с колориметром, по примеру большинства исследователей в мире [4–6], использовалась полиэтиленовая пленка. Несовпадения в данном случае оказались более явными и многочисленными. Дело не только в разбросе абсолютных значений L*, a*, b*. Работающие в паре приборы с идентичной геометрией цветоизмерения фиксировали на некоторых участках колонок различный, в том числе противоположный характер распределения одной или нескольких цветовых величин. Скачки́ в измерениях колориметра совершенно очевидно связаны с пленкой, точечностью анализа и попаданием в локальные неоднородности. На рис. 4 хорошо видно, что значения L*, a*, b*, полученные с помощью фотоустановки, весьма чутко отражают изменения в строении и составе осадков, накопленных за четвертичное время в условиях шельфа (колонка LV77-3, [9]), континентального склона (колонка LV77-28), глубоководной котловины окраинного моря (колонка LV87-55), абиссали (колонка LV76-18).

Изученные осадки преимущественно терригенные, реже терригенно-биогенные и в упрощенном варианте делятся на красно- и сероцветные. В первом случае речь идет о всевозможных оттенках коричневого и желтого, высоких положительных значениях a* и b* и переменных значениях L*, во втором – об оттенках черного и зеленого, низких, часто отрицательных значениях a* и переменных значениях L* и b* (рис. 4). Исходя из общелитологических представлений [10, 11], окраска таких осадков формируется в раннем диагенезе: красноцветность обусловлена окисленными формами подвижных (аутигенных) соединений железа и отчасти марганца, сероцветность – аутигенными формами двухвалентного железа и органическим веществом. Цветовая диагенетическая текстура (распределение участков разной окраски) согласуется с первичной текстурой (ориентация и относительное расположение

Рис. 4. Различие показаний цветометрической фотоустановки (*1*) и колориметра (*2*) для колонок осадков из Тихого и Северного Ледовитого океанов с указанием главных литологических особенностей осадков (*А–В*, *3–26*): *А* – цвет в виде фотографии (подложка) и в системе координат CIE 1976 L*a*b* (парные кривые, разделенные пунктиром; см. сверху вниз в соответствующем порядке); *Б* – текстура; *В* – основной состав и генезис; *3* – однородная текстура; *4* – пятнисто-линзовидная текстура; *5* – слоистость; *6* – биотурбация; *7* – оползание; *8* – размыв (перерыв седиментации); *9* – линзы гидротроилита; *10* – цементация осадка гидроксидами железа, стяжения гидроксидов железа; *11* – включения карбонатов кальция; *12* – включения карбонатов марганца; *13* – пелитовые осадки, терригенные; *14* – пелитовые осадки, терригенно-биогенные (диатомовые); *15* – песчано-алевритовые осадки, терригенно-биогенные (фораминиферовые); *16* – алеврито-песчаные осадки, терригенные; *17* – алеврито-пелитовые осадки, терригенные; *18* – пелито-алевритовые осадки, терригенные; *19* – алеврито-пелито-песчаные осадки, терригенные; *20* – пелито-алеврито-песчаные осадки, терригенные; *21* – галька ледового разноса; *22* – растительный детрит; *23* – ракуша; *24* – прослои и линзы вулканического пепла. Литологическое описание колонок LV77-3 и LV77-28 выполнено А.С. Астаховым, колонки LV87-55 – А.Н. Деркачёвым.

осадкообразующих частиц) или накладывается на нее независимо. Концентрированное присутствие в осадках вулканогенного материала (пепловые прослои) проявляется в локальных, довольно резких и разнонаправленных колебаниях L*, a*, b* (рис. 4). Небольшие по размеру агрегаты аутигенных минералов значимого влияния на результат послойного цветометрического анализа осадочных разрезов, как правило, не оказывают.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Цветометрическая фотоустановка сконструирована за счет средств гранта РНФ № 17–77–10043. Испытания в экспедиционных условиях выполнены при финансировании РНФ (грант № 19–77–10030, тихоокеанский участок) и РФФИ (грант № 18–05–60104 Арктика, арктический участок). Экспедиционные работы поддержаны Государственным фондом естественных наук Китая (гранты № U160641, № 41420104005), Минобрнауки России в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН (тема № 0271–2019–0005, рег. № АААА–А17–117030110033–0) и РФФИ (грант № 18–05–60104 Арктика).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Giosan L., Flood R.D., Aller R.C.* Paleooceanographic Significance of Sediment Color on Western North Atlantic Drifts: I. Origin of Color // Marine Geology. 2002. V. 189. P. 25–41.
2. *Левитан М.А., Сыромятников К.В., Рощина И.А., Штайн Р.* Соотношение цвета и химического состава четвертичных донных осадков из южной части поднятия Менделеева и континентального склона Восточно-Сибирского моря // Геохимия. 2014. № 3. С. 233–248.
3. *Kobayashi D., Yamamoto M., Irino T., et al.* Distribution of Detrital Minerals and Sediment Color in Western Arctic Ocean and Northern Bering Sea Sediments: Changes in the Provenance of Western Arctic Ocean Sediments since the Last Glacial Period // Polar Science. 2016. V. 10. № 4. P. 519–531.
4. *Balsam W.L., Damuth J.E., Schneider R.R.* Comparison of Shipboard vs. Shore-based Spectral Data from Amazon Fan Cores: Implications for Interpreting Sediment Composition // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results / Flood R.D., Piper D.J.W., Klaus A., Peterson L.C. (Eds.). 1997. V. 155. P. 193–215.
5. Cruise Report: R/V MIRAI. Cruise MR06-04, 2006. Leg 1: Sekinehama–Kushiro. Leg 2: Kushiro–(Dutch Harbor, USA)–Sekinehama / *Harada N.* (Ed.). Yokosuka, Japan: JAMSTEC, 2006. 250 p.
6. The Expedition of the Research Vessel "Polarstern" to the Arctic in 2008 (ARK-XXIII/3) / Jokat W. with contributions of the participants (Eds.) // Reports on Polar and Marine Research. 2009. V. 597. 226 p.
7. *Мартинкевич А.А., Прокопчук Н.Р.* Пигменты для современных лакокрасочных материалов. Минск: БГТУ, 2014. 130 с.
8. ГОСТ Р 54766-2011 (ИСО 12647-2:2004). Технология полиграфии. Контроль процесса изготовления цифровых файлов, растровых цветоделений, пробных и тиражных оттисков. Ч. 2. Процессы офсетной печати. М.: Стандартинформ, 2012. IV, 19 с.
9. *Astakhov A.S., Shi S., Darin A.V., et al.* Reconstructing Ice Conditions in the Southern Chukchi Sea during the Last Millennium Based on Chemical Composition of Sediments and Diatom Assemblages // Marine Geology. 2020. V. 427. P. 106–220.
10. *Мурдмаа И.О.* Фации океанов. М.: Наука, 1987. 302 с.
11. *Япаскурт О.В.* Литология. М.: ИНФРА-М, 2016. 357 с.

A NEW PROCEDURE TO OBTAIN QUANTIFIED DATA ON COLOR OF MARINE SEDIMENTS

A. N. Kolesnik[a,#], A. A. Bosin[a], O. N. Kolesnik[a], E. A. Yanchenko[a], and Y. P. Vasilenko[a]

[a] *V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[#]*E-mail: kolesnik_a@poi.dvo.ru*

Presented by Academician of the RAS G.I. Dolgikh July 23, 2020

For such a specific geological material as marine sediments, a new maximum objective procedure for quantitative determination of color using an original camera-based colorimetric system is proposed. Numerous sediment cores from the Pacific and Arctic Oceans show the advantages of the colorimetric system over a colorimeter – main colorimetric device.

Keywords: color, camera-based colorimetric system, colorimeter, sedimentology, marine sediments, Pacific Ocean, Arctic Ocean