

# НОВОЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ЛИТОСТРАТИГРАФИИ

**А.Н. Колесник, О.Н. Колесник, Е.А. Янченко, А.А. Босин,  
Ю.П. Василенко, С.А. Селютин, Е.Г. Вологина**

В морской геологии существует проблема научно-технического характера, заключающаяся в отсутствии возможности увидеть, зафиксировать и, соответственно, изучить цвет и текстуру осадков в том исходном состоянии, в котором они находятся на морском дне под толщей воды. Естественная среда осадкообразования резко отличается от среды, в которую осадки в виде кернов попадают при пробоотборе (окислительная атмосфера). Это ведет к быстрым и необратимым изменениям цвета и текстуры. Проблема решается за счет нового колориметрического устройства – фотоустановки. Она позволяет делать съемку, фиксируя цвет и текстуру осадков с беспрецедентно высокой скоростью (2 мин на метр керна) и сверхвысоким разрешением (0.067 мм) по стандартам ISO без каких-либо искажений, в отличие от основного портативного колориметрического устройства – колориметра. Показана связь колориметрических характеристик осадков, полученных с помощью фотоустановки, с геохимическими характеристиками и возможность использования данных в литостратиграфии и палеореконструкциях. Фотоустановка может успешно применяться не только в морской геологии, но и в самых разных областях – от металлургии до пищевой промышленности, – где необходимо точное определение цвета.

**Ключевые слова:** цвет, цветность, текстура, керны морских осадков, колориметрическая фотоустановка, колориметр, морская геология, литостратиграфия, палеореконструкции

## Введение

Описание цвета – общепринятый этап изучения кернов морских осадков. Определенный на количественном уровне, цвет (точнее цветность) может использоваться в литостратиграфическом расчленении и корреляции. Однако в точном фиксировании существует ряд трудностей. Прежде всего это быстрые и необратимые трансформации цвета в окислительной атмосфере после вскрытия пробоотборника, неровная влажная поверхность образцов и их длина, отсутствие единых условий цветоопределения [1]. В морской геологии для описания цвета (цветности) и текстуры образцов применяют цветовые шкалы, фотоаппараты, спектрофотометры, колориметры. Обзор устройств и методов количественного определения цвета [2] указывает на серьезную техническую проблему, которая заключается в отсутствии мобильных установок с функцией фотометра-колориметра для бесконтактного безбликового определения цвета и

текстуры длинномерных образцов донных осадков, обладающих свойствами зеркального и диффузного отражения, в полевых (экспедиционных) условиях. Техническая проблема влечет за собой появление проблемы научного характера. Последняя состоит в слабой вовлеченности цвета в исследования по морской геологии, в том числе связанные с изучением и прогнозированием состояния окружающей среды и климата.

Нами сконструировано колориметрическое устройство (фотоустановка) для оперативного получения количественной информации о цвете и фиксации текстуры донных осадков, горных пород и почв с помощью цифровых фотоизображений, которое лишено недостатков современных устройств для колориметрического анализа. Техническое решение запатентовано [2], первые научные результаты опубликованы в виде краткого сообщения [3].

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы:

- доказать преимущества новой колориметрической фотоустановки перед колориметром

путем сопоставления результатов, полученных с помощью этих двух устройств при параллельной съемке кернов морских осадков, с учетом стандартов ISO;

- проверить связь данных, полученных с помощью фотоустановки, с вещественным составом осадков, оценить пригодность этих данных для литостратиграфии и палеореконокструкций.

## ■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Материал.** Основой для анализа послужили 115 кернов осадков общей длиной более 300 м, накопленных в условиях шельфа и глубоководной части Северного Ледовитого океана (рис. 1). Выбор района работ объясняется тем, что благодаря своему географическому положению и особенностям седиментации [4] моря Восточной Арктики являются регионом, особенно благоприятным для накопления в донных осадках огромных запасов органического углерода. Как следствие, здесь широко развиты восстановленные осадки, которые очень остро и кардинально

(существенно сильнее, чем окисленные осадки) реагируют на появление окислительной атмосферы при вскрытии пробоотборника и поэтому требуют максимально оперативной фиксации цвета и текстуры.

**Колориметрический анализ** выполнялся в условиях морской экспедиции с помощью новой колориметрической фотоустановки и параллельно работающих с ней колориметров Konica Minolta CM-700d (Konica Minolta Sensing Inc., Япония) с геометрией измерения d/8, а также PCE-CSM 1 (PCE Instruments, Германия) и CS-10 (CHN Spec, Китай) с геометрией измерения 8/d. Цвет определялся также визуально в рамках стандартного литологического описания.

Анализ с помощью колориметров проводился по общепринятой схеме. Продвижение по поверхности распиленной вдоль половинки керна, покрытой оптически прозрачной полимерной пленкой (ппп), происходило с шагом 1 см. Шаг соответствовал диаметру апертуры 6–8 мм. На всю ширину керна в пределах каждого такого шага делалось одно измерение. На анализ метровой секции керна уходило около получаса. Запись информации производилась в координатах цветовой модели CIE L\*a\*b\*.

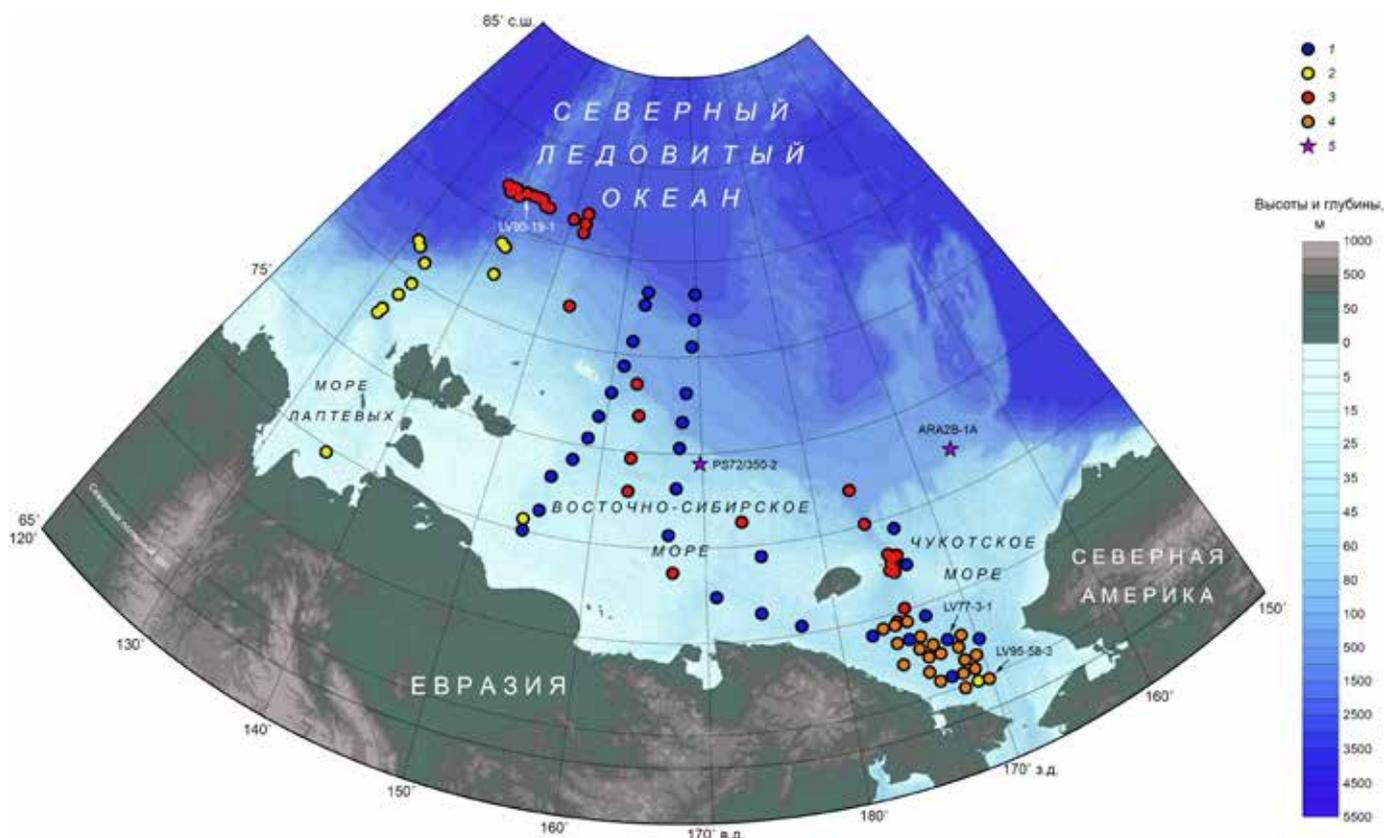
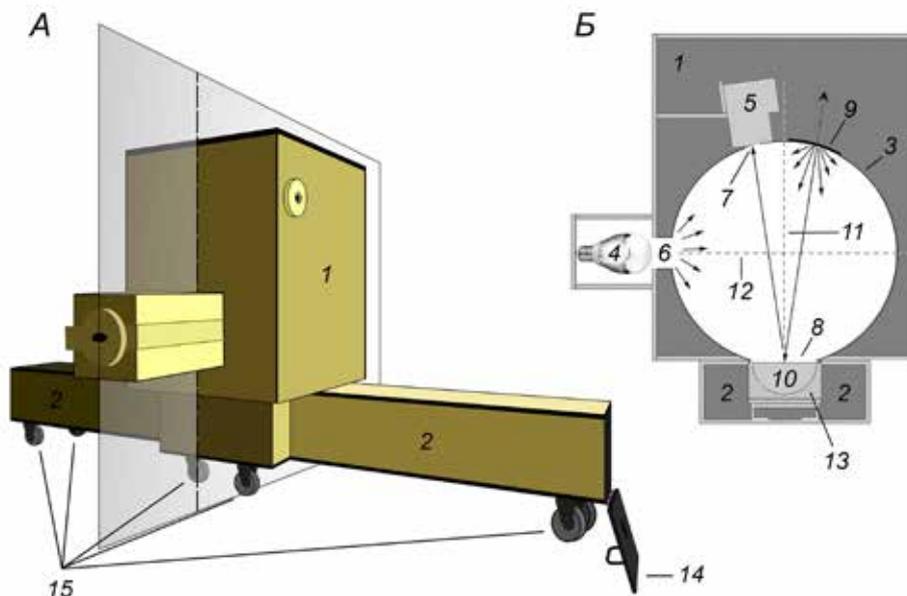


Рис. 1. Карта района работ со станциями отбора кернов осадков. 1–4 – фактический материал, в том числе демонстрационный (номера), отобранный в рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев»: 1 – 77-й рейс, 2016 г.; 2 – 83-й рейс, 2018 г.; 3 – 90-й рейс, 2020 г.; 4 – 95-й рейс, 2021 г.; 5 – сопоставительный материал [5]

Рис. 2. Схема колориметрической фотоустановки. А — общий вид с плоскостью поперечного сечения. Б — вид в поперечном сечении. 1 — верхний модуль, 2 — нижний модуль, 3 — фотометрический шар, 4 — лампа, 5 — фотоаппарат, 6 — отверстие под лампу, 7 — отверстие под фотоаппарат, 8 — аналитическое окно, 9 — отверстие ловушки зеркального блеска, 10 — образец, 11 — центральная нормаль, 12 — центральная ось отверстия под лампу, 13 — подвижная каретка, 14 — дверца, 15 — поворотные ролики



Анализ с помощью колориметрической фотоустановки проводился по оригинальной методике.

*Конструкция фотоустановки* описана в патенте [2]. Основными элементами являются верхний и нижний модули, фотометрический шар, источник освещения, детектор, аналитическое окно, ловушка зеркального блеска (рис. 2). В качестве детектора нами использовался фотоаппарат Canon EOS 6d Mark с объективом Canon EF 50mm f/1.2L USM (Canon Inc., Япония). Источником освещения служила светодиодная лампа с коррелированной цветовой температурой  $T_c = 5823$  К, индексом цветопередачи  $CRI = 98.2$  % и световым потоком  $\Phi_v = 659$  лм (Seoul Semiconductor, Корея). Свойства и размещение элементов фотоустановки сопоставлялись с требованиями ISO [6–9].

*Калибровка фотоустановки.* Перед использованием фотоустановки для фотоаппарата настраивались экспозиция, глубина резко изображаемого пространства, баланс белого, создавался цветовой профиль.

Параметры стандартной экспозиции определялись в автоматическом режиме точечного экспозамера фотоаппарата при минимальной светочувствительности матрицы ISO 50. Основой для экспозамера была карта нейтрального серого цвета из калибровочного набора X-Rite (США) [10]. Преимущество выбора в экспозамере отдавалось диафрагменному числу  $f/8.0$ , при котором достигается наибольшая резкость объектива [11]. В нашем случае параметры экспозиции составляли: светочувствительность матрицы ISO 50, диафрагма  $f/8.0$ , выдержка  $T_v$  1/10 с.

После определения стандартной экспозиции фотоаппарат переводился в ручной режим экспонирования для стабилизации параметров съемки.

Глубина резко изображаемого пространства с заданной стандартной экспозицией настраивалась в автоматическом режиме фокусировки объектива по девяти центральным точкам, наиболее чувствительным к изменению яркостей. Для этого использовались цветные плашки калибровочного набора. Калибровочный набор располагался под аналитическим окном на одном уровне с поверхностью образца. Затем выбирался ручной режим фокусировки объектива для стабилизации параметров съемки.

Баланс белого устанавливался вручную в параметрах фотоаппарата согласно техническим характеристикам лампы по ее цветовой температуре  $T_c = 5823$  К.

Цветовой профиль фотоаппарата создавался в программе DNG Profile Editor (Adobe Systems Inc., США). За эталонные брались известные цветные координаты цветных плашек калибровочного набора [10].

*Работа фотоустановки.* Подготовка к работе фотоустановки (прогрев лампы и фотоаппарата в течение 10 мин) начиналась одновременно с подготовкой керна (продольный распил метровых секций на станке, ручное заглаживание поверхности).

После прогрева лампы заглаженная половинка керна помещалась внутрь нижнего модуля фотоустановки. Затем производилась съемка с использованием SPIN-методики. Шаг работ составлял 30 мм. Это позволяло с учетом диаметра аналитического окна и

габаритных размеров образца получать достаточную область перекрытия при последующем монтаже фотоизображений в полный снимок керна. Обычно процедура подготовки и съемки 8–12-метровых секций керна занимала не более 20 мин, т.е. на анализ 1 м осадка уходило около 2 мин.

Полученные фотоизображения загружались в приложение Adobe Camera Raw для Photoshop (Adobe Systems Inc., США). К ним применялся созданный на подготовительном этапе цветовой профиль, выставлялась цветовая температура лампы. Фотоизображения кадрировались, выравнивались; производилась

коррекция дисторсии и профиля объектива фотоаппарата. Фотоизображения сохранялись в формате TIFF. Их объединение в фотоизображение секции керна, а затем и всего керна происходило в приложении Adobe Photomerge (Adobe Systems Inc., США). Обработка фотоизображений кернов для извлечения количественной информации о цвете производилась в координатах цветовой модели CIE L\*a\*b\* с помощью программы ImageJ (National Institutes of Health, США). Для разделения данных, полученных непосредственно с матрицы фотоаппарата, и данных, приведенных к стандарту CIE, мы использовали марки-

Таблица 1

**Цветность цветковых плашек калибровочного набора, измеренная с помощью колориметрической фотоустановки и стандартизованная согласно регрессионным уравнениям, с указанием цветового различия ΔE и отклонения цветового тона ΔH между стандартизованными и эталонными значениями**

Измеренные значения			Стандартизованные значения			Эталонные значения [10]			ΔE CIE 1976	ΔE CIE 2000	ΔH
L, %	a	b	L* <sub>per</sub> , %	a* <sub>per</sub>	b* <sub>per</sub>	CIE L*, %	CIE a*	CIE b*			
33.156	12.147	21.326	35.819	12.459	13.969	37.986	13.555	14.059	2.43	2.04	0.74
65.582	16.147	23.790	67.307	16.553	16.566	65.711	18.130	17.810	2.57	1.65	0.23
48.765	-4.426	-12.931	50.977	-4.502	-22.127	49.927	-4.880	-21.925	1.13	1.10	0.41
39.714	-13.433	29.402	42.187	-13.720	22.479	43.139	-13.095	21.905	1.27	0.97	0.24
53.648	10.313	-13.388	55.717	10.582	-22.609	55.112	8.844	-25.399	3.34	3.02	2.66
69.431	-30.807	9.843	71.044	-31.501	1.870	70.719	-33.397	-0.199	2.83	1.62	2.12
61.129	33.913	62.687	62.982	34.734	57.551	62.661	36.067	57.096	1.45	0.89	1.38
38.527	9.330	-35.941	41.035	9.576	-46.373	40.020	10.410	-45.964	1.37	1.17	0.90
51.936	46.974	23.367	54.055	48.100	16.119	51.124	48.239	16.248	2.94	2.88	0.08
25.625	24.539	-12.522	28.507	25.141	-21.697	30.325	22.976	-21.587	2.82	1.8	1.36
73.171	-24.858	64.344	74.675	-25.412	59.297	72.532	-23.709	57.255	3.41	1.77	0.77
70.232	17.808	72.497	71.822	18.252	67.888	71.941	19.363	67.857	1.12	0.68	1.08
25.895	15.758	-43.319	28.769	16.154	-54.147	28.778	14.179	-50.297	4.32	0.86	0.82
54.603	-40.190	40.793	56.645	-41.102	34.482	55.261	-38.342	31.370	4.38	1.82	0.63
42.794	51.933	30.138	45.178	53.176	23.255	42.101	53.378	28.190	5.82	3.83	4.36
79.761	1.273	80.308	81.074	1.330	76.119	81.733	4.039	79.819	4.63	1.79	2.58
52.287	49.225	-4.416	54.396	50.405	-13.155	51.935	49.986	-14.574	2.87	2.49	1.48
51.420	-24.206	-17.937	53.554	-24.744	-27.402	51.038	-28.631	-28.638	4.79	3.00	1.96
87.748	0.970	8.173	88.830	1.020	0.109	96.539	-0.425	1.186	7.92	5.28	1.78
78.768	-0.385	8.916	80.117	-0.366	0.893	81.257	-0.638	-0.335	1.70	1.49	1.24
66.792	-1.034	10.379	68.504	-1.030	2.434	66.766	-0.734	-0.504	3.42	3.13	2.37
47.840	-0.618	9.435	50.117	-0.605	1.440	50.867	-0.153	-0.270	1.92	1.93	1.25
29.101	-0.242	6.551	31.929	-0.220	-1.599	35.656	-0.421	-1.231	3.75	3.06	0.28
15.261	0.348	3.810	18.346	0.384	-4.487	20.461	-0.079	-0.973	4.13	3.51	0.35
$\bar{x}$									3.20	2.19	1.25
max									7.92	5.28	4.36

**Примечание.** С помощью заливки показаны визуальные различия между измеренной, стандартизованной и эталонной цветностью. Красным шрифтом выделены значения, превышающие допуски по ISO 12647–2:2004 [12].

ровку Lab для первых и  $L^*_{\text{рег}} a^*_{\text{рег}} b^*_{\text{рег}}$  – для вторых. Фотоустановка позволяла получать количественную информацию о цвете с разрешением 0.067 мм. Для корреляции с другими количественными характеристиками осадков проводилось необходимое осреднение.

*Правильность результатов анализа, полученных с помощью фотоустановки.* Соответствующая оценка проводилась с помощью регрессионного анализа. Лампа с известной цветовой температурой и высоким индексом цветопередачи CRI (98.2 %), воспроизводимость и изолированность условий измерения цвета позволили нам провести корреляционный анализ между известными значениями (эталоны) в координатах CIE 1976  $L^*a^*b^*$  для цветowych плашек калибровочного набора [10] и значениями, измеренными для этих же плашек с помощью фотоустановки. Коэффициенты корреляции составили для яркости CIE  $L^*/L^*_{\text{изм}} = 0.992$ , CIE  $a^*/a^*_{\text{изм}} = 0.998$  и CIE  $b^*/b^*_{\text{изм}} = 0.998$ . Такие высокие значения при малом объеме выборки ( $n = 30$ ) позволяют говорить о наличии практически линейной связи, что, в свою очередь, дает возможность вывести уравнения линейной регрессии для приведения измеренных величин к стандартам CIE (например, при использовании источника света CIE D50) (табл. 1). При этом цветовое различие между эталонными и рассчитанными значениями составляет 3.20 для  $\Delta E$  CIE 1976 и 2.19 для  $\Delta E$  CIE 2000, отклонение цветового тона  $\Delta H = 1.25$ . Это существенно ниже допусков, указанных в полиграфическом стандарте ISO 12647-2:2004 [12]. При таких значениях  $\Delta E$  и  $\Delta H$  считается, что разницу между цветами может увидеть только опытный эксперт-колорист при непосредственном контакте образцов [13].

**Другие анализы. Обработка данных.** Вещественный состав осадков анализировался на суше, в стационарных лабораториях ТОИ ДВО РАН (Владивосток). Содержание органического углерода рассчитывалось после анализа проб на анализаторе углерода TOC-V<sub>CPN</sub> с приставкой SSM-5000A (Shimadzu, Япония). Содержание химических элементов определялось на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL Quant’X (Thermo Fisher Scientific, США) с использованием серии стандартных образцов (SGH5, MAN, JH-1 и др.). Методики анализа, включая стадию пробоподготовки, хорошо отработаны и описаны ранее [14–16]. Данные сводились в общую базу, наличие связи между колориметрическими и геохимическими характеристиками устанавливалось с помощью корреляционного анализа. Значимость коэффициентов корреляции опреде-

лялась по критерию Пирсона. На основе полученной информации производилось расчленение осадочных разрезов с привязкой к подробно изученным разрезам региона. В системе литостратиграфических показателей особое внимание уделялось цветности, измеренной с помощью нашей фотоустановки и колориметров (для сравнения).

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Сравнение результатов работы колориметрической фотоустановки и колориметра.** Поскольку предполагалось сравнение цветности, полученной в разных условиях и с помощью разных устройств, на начальном этапе важно было оценить саму возможность такого сравнения. Цветовые плашки калибровочного набора X-Rite, выбранные нами в качестве эталонов, представляют собой пигменты с матовой поверхностью и известным спектром отражения. По данным производителя [10], значения цветности плашек определены с учетом рекомендаций CIE в следующих условиях: геометрия измерения 45/0, источник света CIE D50, стандартный колориметрический наблюдатель CIE, вычисленный с угловым полем зрения 2°. В своих испытаниях мы использовали фотоустановку и колориметры – устройства с другими условиями освещения и наблюдения: геометрия измерения 8/d или d/8 (в сочетании со SPIN-методикой), источники света CIE D50 или CIE D65, стандартный колориметрический наблюдатель CIE, вычисленный с угловым полем зрения 2° или 10°. При таких условиях даже высокоглянцевые поверхности отражают свет диффузно и воспринимаются как матовые. Такие условия рекомендованы CIE [17, 18] и оптимальны для нашего объекта изучения – кернов морских осадков с неровной влажной поверхностью и высокой степенью блеска. Получается, что все задействованные нами колориметрические устройства соответствуют стандартам CIE и позволяют определять истинный цвет объекта (истинным считается цвет объекта при дневном освещении). Высокие индексы цветопередачи источников света CRI обеспечивают возможность приведения замеров цветности к одному стандарту, например CIE D50. В нашем случае для стандартизации использовались уравнения линейной регрессии.

Анализ цветности цветowych плашек калибровочного набора, выполненный с помощью колориметров, показал, что без оптически прозрачной полимерной пленки эти устройства могут давать весьма точную оценку (табл. 2). Так, при непосредственном контакте апертуры колориметра Konica Minolta CM-700d с

Цветность цветowych плашек калибровочного набора, измеренная, в том числе через оптически прозрачную полимерную пленку (ппп), с помощью колориметрической фотоустановки и колориметров, с указанием цветового различия  $\Delta E$  и отклонения цветового тона  $\Delta H$  измеренных (колориметры) и стандартизованных (фотоустановка) значений относительно эталонных

	Эталонные значения [10]			Показания фотоустановки			Показания колориметра Konica Minolta CM-700d		
	CIE L*, %	CIE a*	CIE b*	L* <sub>per</sub> , %	a* <sub>per</sub>	b* <sub>per</sub>	CIE L*, %	CIE a*	CIE b*
White (.05*)	96.539	-0.425	1.186	88.830	1.020	0.109	97.682	-0.297	2.683
Neutral 8 (.23*)	81.257	-0.638	-0.335	80.117	-0.366	0.893	79.179	-0.288	-1.024
Neutral 6.5 (.44*)	66.766	-0.734	-0.504	68.504	-1.030	2.434	65.283	-0.379	-1.190
Neutral 5 (.70*)	50.867	-0.153	-0.270	50.117	-0.605	1.440	50.037	0.172	-0.960
Neutral 3.5 (1.05*)	35.656	-0.421	-1.231	31.929	-0.220	-1.599	35.452	-0.083	-1.906
Black (1.50*)	20.461	-0.079	-0.973	18.346	0.384	-4.487	20.881	0.242	-1.652
Blue	28.778	14.179	-50.297	28.769	16.154	-54.147	28.856	13.766	-50.242
Green	55.261	-38.342	31.370	56.645	-41.102	34.482	56.945	-37.679	34.462
Red	42.101	53.378	28.190	45.178	53.176	23.255	41.632	50.947	27.077
Yellow	81.733	4.039	79.819	81.074	1.330	76.119	84.181	7.238	81.123
Magenta	51.935	49.986	-14.574	54.396	50.405	-13.155	51.930	47.057	-17.769
Cyan	51.038	-28.631	-28.638	53.554	-24.744	-27.402	53.820	-36.287	-23.516
Orange	62.661	36.067	57.096	62.982	34.734	57.551	62.270	37.360	58.379
Purplish blue	40.020	10.410	-45.964	41.035	9.576	-46.373	43.318	10.763	-43.202
Moderate red	51.124	48.239	16.248	54.055	48.100	16.119	50.379	49.102	14.155
Purple	30.325	22.976	-21.587	28.507	25.141	-21.697	30.340	22.110	-21.959
Yellow green	72.532	-23.709	57.255	74.675	-25.412	59.297	70.812	-22.172	55.709
Orange yellow	71.941	19.363	67.857	71.822	18.252	67.888	73.659	21.471	68.740
Bluish green	70.719	-33.397	-0.199	71.044	-31.501	1.870	69.074	-31.361	-0.890
Blue flower	55.112	8.844	-25.399	55.717	10.582	-22.609	54.108	8.705	-25.715
Foliante Foliage	43.139	-13.095	21.905	42.187	-13.720	22.479	42.627	-12.104	20.885
Blue sky	49.927	-4.880	-21.925	50.977	-4.502	-22.127	49.136	-4.312	-22.292
Light skin	65.711	18.130	17.810	67.307	16.553	16.566	64.271	17.513	16.851
Dark skin	37.986	13.555	14.059	35.819	12.459	13.969	37.686	13.174	13.156
$\Delta E$ CIE 1976				3.20			2.42		
$\Delta E$ CIE 2000	-			2.19			1.53		
$\Delta H$				1.25			1.34		

поверхностью цветowych плашек без пленки средние значения цветового различия и отклонения цветового тона для измеренных нами и эталонных значений цветности при источнике света CIE D50 составили:  $\Delta E$  CIE 1976 = 2.42,  $\Delta E$  CIE 2000 = 1.53 и  $\Delta H$  = 1.34. Колориметр PCE-CSM 1 с другой геометрией измерения цветности (8/d) и другим источником света (CIE D65) продемонстрировал более слабый результат:  $\Delta E$  CIE 1976 = 4.75,  $\Delta E$  CIE 2000 = 3.14 и  $\Delta H$  = 2.42. Однако с помощью уравнения линейной регрессии возможен перерасчет его показаний на стандарты CIE D50, хотя и с некоторой потерей точности. Итак, результаты определения цветности цветowych плашек калибровочного набора без пленки колориметрами

лежат в пределах допусков стандарта ISO 12647-2:2004 [12].

Анализ цветности цветowych плашек калибровочного набора, выполненный с помощью колориметров в условиях, имитирующих экспедиционные, т.е. с покрытием поверхности плашек оптически прозрачной полимерной пленкой, продемонстрировал резкое визуальное и количественное различие измеренных и эталонных значений (табл. 2). Так, колориметр Konica Minolta CM-700d в ходе испытаний дал  $\Delta E$  CIE 1976 = 26.66,  $\Delta E$  CIE 2000 = 15.46 и  $\Delta H$  = 11.88, колориметр PCE-CSM 1:  $\Delta E$  CIE 1976 = 23.50,  $\Delta E$  CIE 2000 = 21.35 и  $\Delta H$  = 6.81. Вывод о значительном искажении данных особенно важен, поскольку в по-

Окончание табл. 2

	Показания колориметра Konica Minolta CM-700d			Показания колориметра PCE-CSM 1					
	CIE L* <sub>nm</sub> <sup>*</sup> %	CIE a* <sub>nm</sub>	CIE b* <sub>nm</sub>	CIE L*, %	CIE a*	CIE b*	CIE L* <sub>nm</sub> <sup>*</sup> %	CIE a* <sub>nm</sub>	CIE b* <sub>nm</sub>
White (.05*)	91.731	-0.275	4.014	94.089	1.798	-0.179	85.273	0.366	10.336
Neutral 8 (.23*)	79.076	-0.789	0.941	81.751	0.204	-0.165	78.395	-0.501	10.342
Neutral 6.5 (.44*)	68.739	-0.568	0.768	66.545	-0.557	3.350	69.919	-0.915	11.994
Neutral 5 (.70*)	57.047	0.052	0.397	48.967	-0.330	2.428	60.121	-0.791	11.561
Neutral 3.5 (1.05*)	53.477	0.009	0.255	35.335	-0.339	-0.167	52.522	-0.796	10.341
Black (1.50*)	48.056	-0.618	0.139	25.712	0.175	-0.950	47.158	-0.517	9.973
Blue	48.297	4.689	25.709	26.699	8.224	-49.160	47.708	3.860	-12.685
Green	60.827	-18.300	19.380	53.882	-37.961	31.934	62.861	-21.254	25.429
Red	53.592	25.995	9.550	43.675	50.747	23.953	57.171	26.983	21.677
Yellow	81.128	3.167	47.343	83.976	3.197	80.550	79.635	1.127	48.278
Magenta	61.023	27.054	-9.274	55.372	51.523	-11.115	63.691	27.405	5.196
Cyan	63.704	-9.734	-13.954	50.979	-25.799	-34.094	61.242	-14.641	-5.604
Orange	63.151	26.282	33.485	58.407	39.550	50.935	65.383	20.894	34.359
Purplish blue	52.303	4.631	27.461	36.799	7.556	-48.968	53.338	3.497	-12.595
Moderate red	58.596	29.207	7.800	53.371	47.785	19.955	62.576	25.372	19.798
Purple	53.726	5.852	7.200	35.623	15.872	-14.083	52.683	8.019	3.801
Yellow green	73.213	-14.670	37.227	74.746	-29.674	62.579	74.490	-16.748	39.831
Orange yellow	71.814	16.412	39.273	71.668	23.203	64.252	72.775	12.006	40.618
Bluish green	66.918	-16.915	2.321	73.221	-30.708	-1.847	73.640	-17.310	9.552
Blue flower	55.115	2.650	13.036	52.995	11.574	-25.091	62.366	5.682	-1.373
Foliante Foliage	52.841	-3.416	7.009	44.014	-9.880	17.561	57.360	-5.984	18.673
Blue sky	50.920	-1.294	-11.374	48.552	-3.257	-24.105	59.889	-2.383	-0.910
Light skin	58.513	11.762	10.127	63.916	20.959	20.445	68.454	10.785	20.028
Dark skin	52.610	3.408	4.129	33.295	10.800	12.803	51.385	5.261	16.437
ΔE CIE 1976		26.66			4.75			23.50	
ΔE CIE 2000		15.46			3.14			21.35	
ΔH		11.88			2.42			6.81	

**Примечание.** С помощью заливки показаны визуальные различия между измеренной, стандартизованной и эталонной цветностью.

давляющем большинстве публикаций цветность кернов осадков, определенная с помощью портативных спектрофотометров и колориметров с использованием оптически прозрачной полимерной пленки, принимается за истинную. В ходе работы колориметров в экспедиционных условиях нами получены прямые доказательства того, насколько серьезными их недостатками являются локальность и недостаточное разрешение анализа. На рис. 3 (врезка) желтыми точками показан шаг опробования колориметра PCE-CSM 1 в пределах некоторой проанализированной площади зерна осадка. При обработке данных результаты по таким точкам осредняются и экстраполируются на всю ширину зерна в пределах горизонта, соответ-

ствующего расположению той или иной точки. На примере рис. 3, 4 показано, что такое осреднение не способно дать объективную оценку цвета (цветности) осадков с разрешением, близким к разрешению человеческого зрения. (Самая четкая область зрительного поля человеческого глаза, по разным данным, способна различать детали, сравнимые с 5–15 Мпикс фотоаппарата [19]). Недостаточное разрешение анализа не позволяет колориметрам воссоздавать текстуру осадков (рис. 3, 4). Колориметры вообще не в состоянии фиксировать текстурный рисунок какого-либо объекта, когда значительную роль играет уже не столько цвет, сколько разница цветов – цветовой контраст. Вместе с тем текстура – важная ха-

рактика, которая позволяет оценить (восстановить) условия, в которых происходила седиментация и последующее диагенетическое преобразование [20, 21]. Морские осадки обычно имеют слоистую текстуру с горизонтальной слоистостью, иногда с наклонной слоистостью. Эта текстура формируется одновременно с седиментацией и связана с изменением поступающего в осадок материала (в виде взвеси частиц разной величины или в растворе), сменой условий в пределах области осадконакопления (гидродинамики, химического состава вод, жизнедеятельности организмов, гравитационных смещений и др.), которые, в свою очередь, связаны с сезонными и климатическими колебаниями, миграцией фаций, тектоническими движениями, вулканизмом. Диагенетическая текстура начинает формироваться в раннюю стадию в виде оолитов, мелких кристаллов, а затем и конкреций разного состава. Фиксация всех этих форм, а также включений типа гальки, гравия, раковинного детрита и раковин моллюсков с помощью колориметра затруднительна: исключение из аналитической области прибора такого рода тел, особенно при их малых размерах и/или приближении в

цвете к цвету вмещающего осадка, зависит только от внимательности наблюдателя (аналитика). На рис. 4 (врезка) показан пример, когда в аналитическую область колориметра попали мелкие обломки раковин.

Результаты анализа цветности цветных плашек калибровочного набора без оптически прозрачной полимерной пленки с помощью фотоустановки в показателях цветового различия несколько уступили результатам, полученным с помощью колориметра Konica Minolta CM-700d также без применения пленки ( $\Delta E$  CIE 1976: 3.20 против 2.42,  $\Delta E$  CIE 2000: 2.19 против 1.53 соответственно), но оказались существенно лучше в показателе отклонения цветового тона ( $\Delta H$ : 1.25 и 1.34 соответственно) (табл. 2). Сравнение с результатами определения цветности колориметром PCE-CSM 1 показало явное преимущество фотоустановки: цветовое различие между эталонными и измеренными значениями по формулам  $\Delta E$  CIE 1976 и  $\Delta E$  CIE 2000 для фотоустановки и колориметра составило соответственно 3.20 против 4.75 и 2.19 против 3.14. Разница в отклонении цветового тона  $\Delta H$  оказалась еще заметнее, чем в случае с колориметром Konica Minolta CM-700d: 1.25 против 2.42.

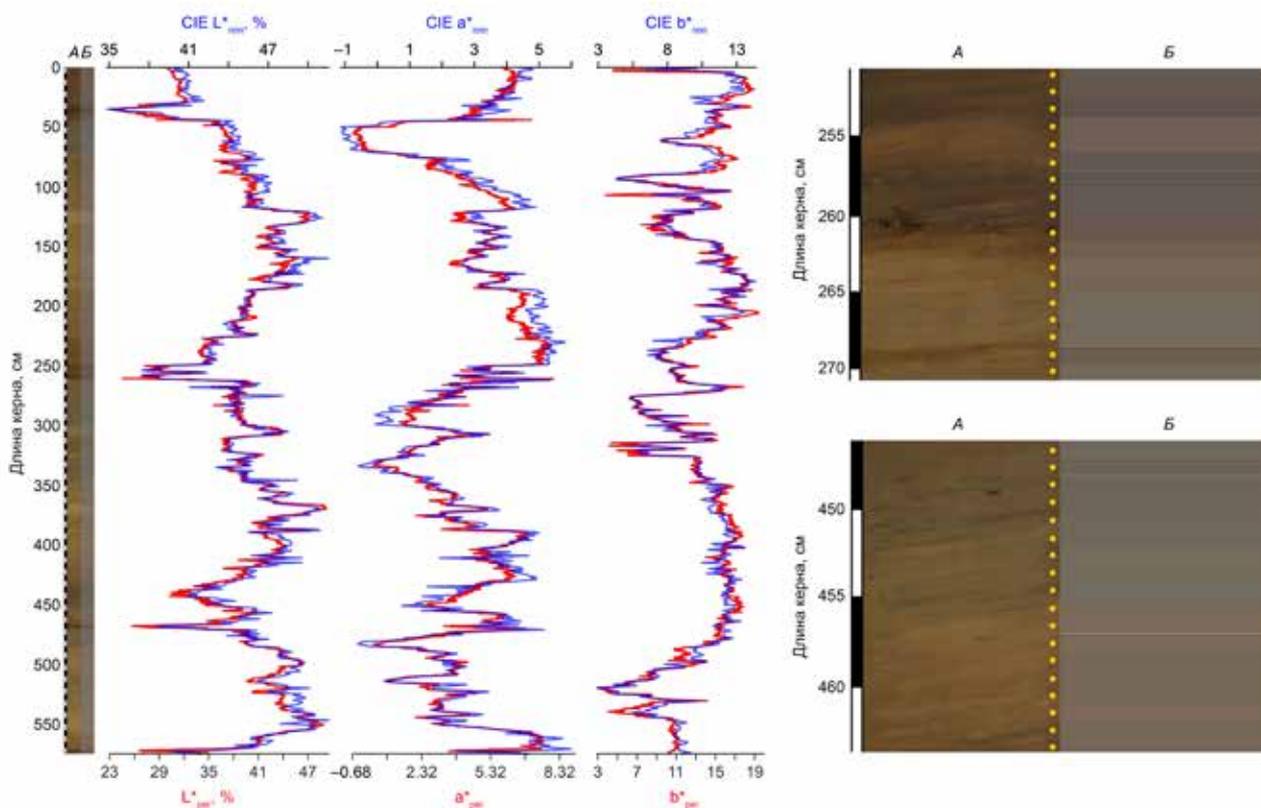
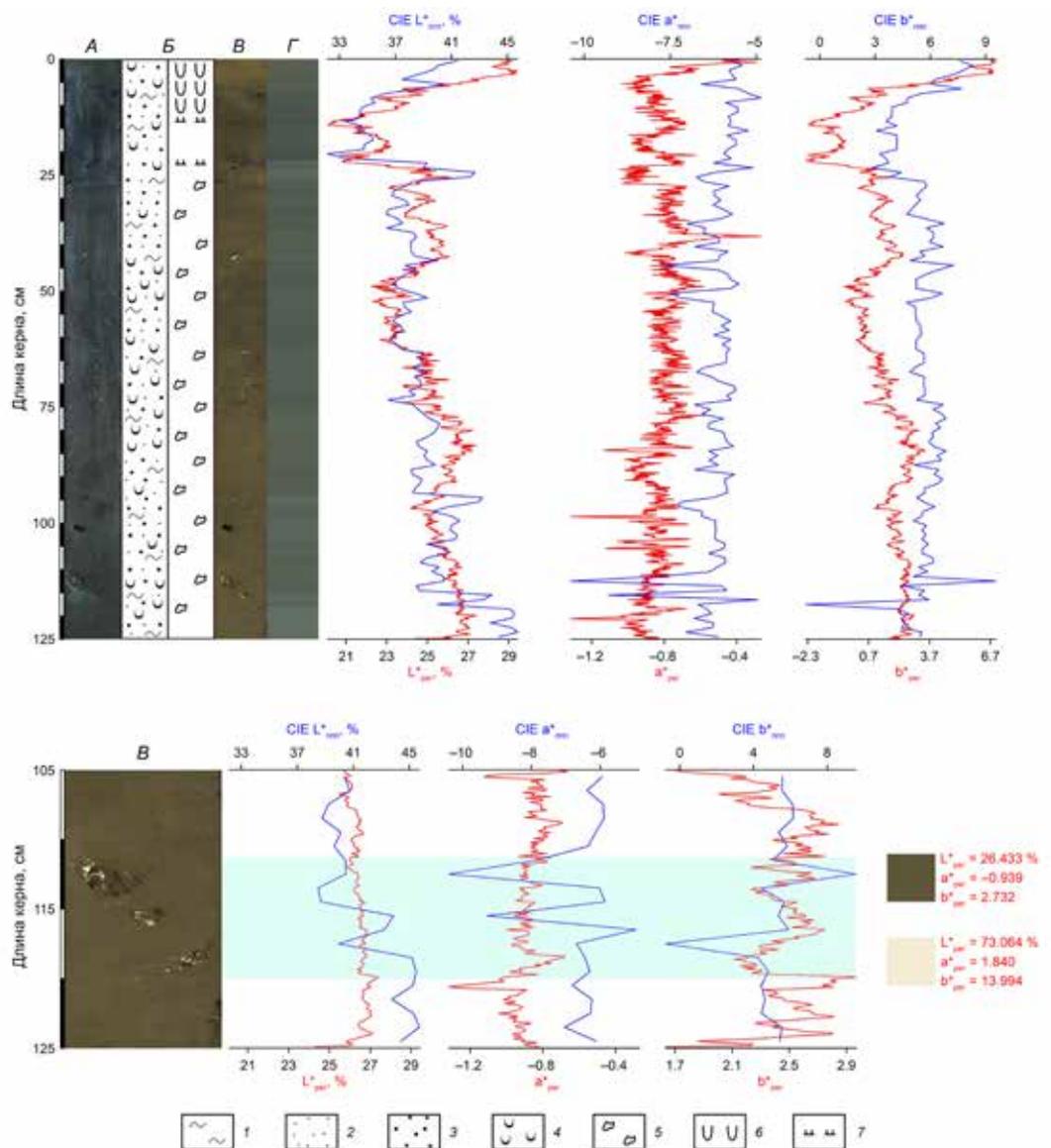


Рис. 3. Цветность осадков керн LV90-19-1 с хребта Ломоносова, измеренная и визуализированная с помощью колориметрической фотоустановки (А и кривые красного цвета) и колориметра PCE-CSM 1 (Б и кривые синего цвета). На врезке крупным планом показаны примеры передачи цвета и текстуры по итогам работы фотоустановки (А) и колориметра (Б). Желтые точки – точки анализа осадка с помощью колориметра. Диаметр точек отвечает диаметру апертуры (6 мм), расстояние между точками соответствует шагу опробования (1 см)

Рис. 4. Полевая фотография (А), литологическая схема (Б: слева общее строение, справа текстура) и цветность осадков керна LV95-58-3 из Чукотского моря, измеренная и визуализированная с помощью колориметрической фотоустановки (В и кривые красного цвета) и колориметра CHN Spres CS-10 (Г и кривые синего цвета). 1 – пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – ракушка, 5 – пятнистая текстура, 6 – биотурбация, 7 – гидротроилит. На врезке крупным планом показан пример искажения цветности по итогам работы колориметра за счет попадания в его аналитическую область обломков раковин моллюсков (кривые синего цвета на голубом фоне). Адекватные показания фотоустановки получены после программной обработки фотоизображения за счет исключения из результатов анализа участков с обломками раковин (кривые красного цвета на голубом фоне). В правой части врезки приведена индивидуальная визуальная и количественная характеристика цвета осадка и обломков раковин, полученная с помощью фотоустановки



Итак, значения  $\Delta E$ , рассчитанные для всех участвовавших в сравнении устройств без оптически прозрачной полимерной пленки, находятся в диапазоне от 4 до 5 (оценка по формуле CIE 1976), т.е. лежат в пределах допусков стандарта ISO 12647-2:2004 [12] с лучшим результатом у колориметра Konica Minolta CM-700d. Значения  $\Delta H$  не превышают 2.5 и также лежат в пределах допусков стандарта ISO 12647-2:2004 [12] с лучшим результатом у фотоустановки. Разница в определении цветности колориметрами (по показателям  $\Delta E$  CIE 1976,  $\Delta E$  CIE 2000,  $\Delta H$ ) связана с использованием в них источников света, соответствующих разным стандартам: CIE D50 в колориметре Konica Minolta CM-700d и CIE D65 в колориметре PCE-CSM 1.

**Связь цвета с вещественным составом осадков. Применение в литостратиграфии и палео-**

**реконструкциях.** Примером здесь может служить подробно изученный керн осадков LV77-3-1 из Чукотского моря [16]. Характеристика цвета (цветности) осадков на основе полевого литологического описания и измерений колориметра показала вариации от черного, темно-серого сверху разреза до оливково-серого в основании с выделением самого верхнего (0–60 см) слоя по показателям CIE  $a^*_{\text{min}}$ , CIE  $b^*_{\text{min}}$  и отчасти CIE  $L^*_{\text{min}}$  [16]. Из локальных особенностей, которые могли повлиять на цветность, следует отметить постоянное присутствие обломков раковин моллюсков и значительную (до 60 %) биотурбированность осадков (рис. 5, Б). Данные, полученные с помощью колориметра, из-за своей невыразительности (в отличие от геохимических и особенно микропалеонтологических данных) не были использованы в палеорекострукции. Обработка материалов,

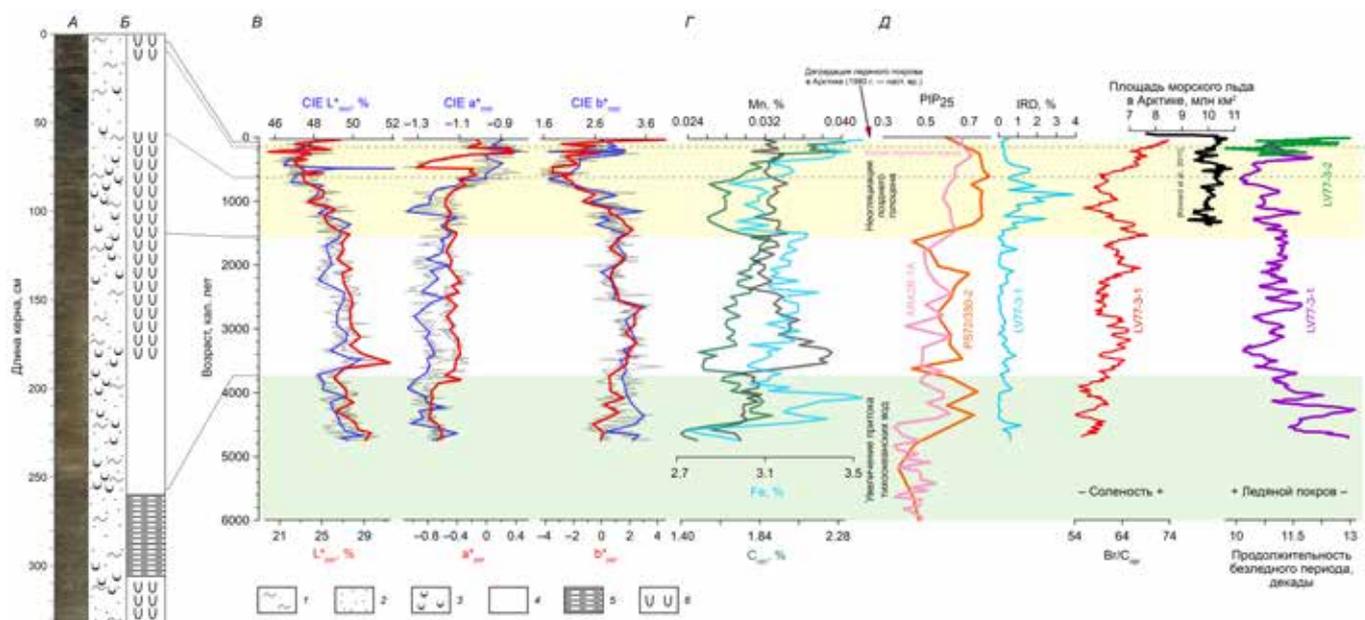


Рис. 5. Цветность осадков керна LV77-3-1 из Чукотского моря, измеренная с помощью колориметрической фотоустановки, как основа для корреляции с другими кернами восточно-арктического региона и палеореконструкций. А – цвет и текстура, визуализированные с помощью колориметрической фотоустановки. Б – литологическая схема (слева общее строение, справа текстура). 1 – пелит, 2 – алевроит, 3 – ракуша, 4 – однородная текстура, 5 – тонкослоистая текстура, 6 – биотурбация. В – цветность, измеренная с помощью колориметрической фотоустановки (кривые красного цвета, сглаженные методом *spline smoothing*) и колориметра Konica Minolta CM-700d (кривые синего цвета, сглаженные методом *spline smoothing*). Кривые серого цвета – исходные данные. Г – содержание органического углерода ( $C_{org}$ ) и редокс-чувствительных макроэлементов. Д – корреляция с детально изученными кернами ARA2B-1A и PS72/350-2 из Чукотского и Восточно-Сибирского морей [5] для палеореконструкции ледяного покрова [16]. PIP<sub>25</sub> – комбинированный показатель ледяного покрова и фитопланктона [22]. IRD – материал ледового разноса, фракция крупнее 63 мкм. LV77-3-2 – короткий керн с ненарушенной стратификацией верхнего слоя осадков, отобранный на станции LV77-3 с помощью мультиторера, в отличие от длинного керна LV77-3-1 с нарушенным верхним слоем, который отобран с помощью гравитационной трубки

Таблица 3

Матрица парных коэффициентов корреляции между цветностью, измеренной с помощью колориметрической фотоустановки, содержанием органического углерода и основных редокс-чувствительных элементов в осадках керна LV77-3-1 из Чукотского моря

Колориметрический/геохимический показатель	$L^*_{per}$	$a^*_{per}$	$b^*_{per}$	$C_{org}$	Fe	Mn
$L^*_{per}$	1					
$a^*_{per}$	-0.32	1				
$b^*_{per}$	0.73	-0.18	1			
$C_{org}$	-0.56	0.31	-0.32	1		
Fe	-0.34	0.22	-0.02	0.79	1	
Mn	0.06	0.29	0.26	-0.11	0.05	1

Примечание. Красным цветом выделены значимые коэффициенты корреляции.

полученных с помощью колориметрической фотоустановки, дала намного более объективные и точные результаты. На фотоизображении, сделанном с помощью фотоустановки, видно, что верхнюю часть керна действительно слагают осадки преимущественно черного, темно-серого цвета, однако самый верхний слой имеет светло-коричневую окраску; средняя часть керна зеленовато-серая, нижняя – серая (рис. 5, А). Полученные с помощью фотоустановки значения  $L^*_{per}$ ,  $a^*_{per}$ ,  $b^*_{per}$  коррелируют с содержанием органического углерода и основных редокс-чувствительных элементов – железа и марганца (рис. 5, В, Г; табл. 3). Такая связь соответствует общетеоретическим представлениям о формировании цвета морских осадков [21]. Кроме того, в характере распределения  $L^*_{per}$ ,  $a^*_{per}$ ,  $b^*_{per}$  отчетливо прослеживаются все интервалы (периоды от среднего голоцена до настоящего времени), выделенные при палеореконструкции ледяного покрова Чукотского моря по микропалеонтологическим, геохимическим [16] и другим данным [5] и связанные главным образом с интенсивностью поступления в бассейн теплых тихоокеанских вод и с их смешением с холодными водами Сибирского прибрежного течения (рис. 5, Д).

Таким образом, показано, что колориметрические характеристики, полученные с помощью колориметрической фотоустановки, а не колориметра, во-первых, максимально объективны и точны, имеют корреляционную связь с геохимическими характеристиками осадков и эта связь отражает реально существующие взаимоотношения между цветом и вещественным составом морских осадков, во-вторых – так же, как традиционные литостратиграфические показатели, в частности микропалеонтологические и геохимические, фиксируют изменения окружающей среды в настоящем и прошлом и, соответственно, могут в полной мере использоваться в палеореконструкциях.

## Заключение

Цвет и текстура – диагностические свойства морских осадков, заключающие существенно больше информации об условиях седиментации и постседиментационных процессах, чем на сегодняшний день из них может быть извлечено и извлекается. Фактически в морской геологии назрела проблема научно-технического характера, суть которой состоит в отсутствии специальных методик и средств для высокоточного и быстрого колориметрического анализа кернов морских осадков прямо на борту судна (техническая часть) и, как следствие, в слабой вовлеченности цвета в исследования, в том числе связанные с палеореконструкциями и прогнозированием состояния окружающей среды и климата (научная часть).

Нами сконструирована колориметрическая фотоустановка, которая позволяет оперативно получать максимально полную и точную информацию о цвете (цветности) и текстуре донных осадков, горных пород и почв с помощью цифровых фотоизображений. Условия получения фотоизображений являются воспроизводимыми и соответствуют международным стандартам ISO. Качество фотоизображений позволяет извлекать и сохранять количественную информацию о цвете, также соответствующую стандартам ISO. Эта информация имеет сверхвысокое (0.067 мм) разрешение и может быть сопоставлена с любыми другими количественными характеристиками осадков.

Фотоустановка прошла успешные испытания в условиях, приближенных к экспедиционным, и в условиях реальных морских экспедиций в Восточную Арктику. Результаты работы фотоустановки сопоставлены с результатами параллельной работы колориметров. В «идеальных» условиях (на примере цветных плашек калибровочного набора без

использования оптически прозрачной полимерной пленки) один из колориметров по значениям  $\Delta E$  показал результаты лучше, чем фотоустановка (оценка производилась по измеренным и эталонным значениям цветового различия  $\Delta E$  CIE 1976 и  $\Delta E$  CIE 2000, а также отклонения цветового тона  $\Delta H$ ). Однако в условиях, имитирующих экспедиционные (на примере цветных плашек калибровочного набора с использованием оптически прозрачной полимерной пленки), колориметры уступили фотоустановке.

В морских экспедициях получены многочисленные и неоспоримые доказательства недостаточного разрешения колориметрического анализа, выполняемого колориметрами. Продвижение по длине керна обычно происходит с шагом 1 см, соответствующим диаметру апертуры 6–8 мм, при этом на всю ширину керна в пределах каждого такого шага делается одно измерение. Это не дает колориметрам фиксировать текстуру осадков, соотносить данные о цвете (цветности) с другой информацией, полученной с более высоким разрешением, и иногда может приводить к искажению представления о цвете (цветности) того или иного слоя за счет попадания в процессе его анализа в локальную неоднородность, например в ступок органического вещества или обломок раковины моллюска.

В рамках выполненных морских испытаний фотоустановка продемонстрировала беспрецедентно высокую производительность: на анализ метровой секции осадка уходило всего 2 мин. Колориметру на это требовалось около получаса. Оперативность крайне важна при потоковом анализе большого количества фактического материала и особенно кернов восстановленных осадков, которые широко представлены на континентальном шельфе, в том числе на восточно-арктическом.

По итогам проведенных работ очевидно, что для целей морской геологии фотоустановка – намного более подходящее колориметрическое устройство, чем колориметр.

На конкретном примере показано, что получаемые с помощью фотоустановки данные о цветности коррелируют с другими количественными характеристиками осадков и в совокупности с ними представляют собой действенный инструмент для установления точных региональных литостратиграфических корреляций между кернами осадков и палеореконструкций.

Сконструированная под решение конкретной научной проблемы морской геологии, фотоустановка может также успешно применяться в самых разных отраслях науки, техники, промышленности, где важ-

но точное определение цвета, например полиграфии, текстильной и пищевой промышленности, химическом производстве, металлургии.

Проектирование и изготовление фотоустановки, разработка методики измерений и подготовка данной публикации выполнены за счет средств РНФ (гран-

ты № 17-77-10043, № 22-17-00118). Керны осадков для апробации фотоустановки и отработки методики измерений получены в ходе экспедиций, поддержанных Минобрнауки России (тема № 121021700342-9) и Государственным фондом естественных наук Китая (гранты № 42176245, № 42130412).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Rothwell R.G., Rack F.R. New techniques in sediment core analysis: an introduction // *New Techniques in Sediment Core Analysis* / R.G. Rothwell (Ed.). Geological Society, London, Special Publications, 2006. Vol. 267. P. 1–29. DOI: 10.1144/GSL.SP.2006.267.01.01.
2. Патент № 2741268 Российская Федерация, МПК G01J 3/02(2006.01), G01J 3/10(2006.01). Мобильное устройство для определения цветовых характеристик горных пород: № 2020115938: заявл. 20.04.2020; опубл. 22.01.2021 / Колесник А.Н., Босин А.А.; заявитель ТОИ ДВО РАН.
3. Колесник А.Н., Босин А.А., Колесник О.Н., Янченко Е.А., Василенко Ю.П. Новая методика получения количественных данных о цвете морских осадков // *ДАН. Науки о Земле*. 2020. Т. 495, № 1. С. 53–58. DOI: 10.31857/S2686739720110079.
4. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001. 302 с.
5. Stein R., Fahl K., Schade I., Manerung A., Wassmuth S., Niessen F., Nam S.-I. Holocene variability in sea ice cover, primary production, and Pacific-Water inflow and climate change in the Chukchi and East Siberian Seas (Arctic Ocean) // *J. Quat. Sci.* 2017. Vol. 32. No. 3. P. 362–379. DOI: 10.1002/jqs.2929.
6. ISO 3664:2009 Graphic technology and photography – Viewing conditions. 34 p.
7. ISO 3668:2017 Paints and varnishes – Visual comparison of colour of paints. 8 p.
8. ISO 2469:2014 Paper, board and pulps – Measurement of diffuse radiance factor (diffuse reflectance factor). 19 p.
9. ISO 7724-2:1984 Paints and varnishes – Colorimetry – Part 2: Colour measurement. 6 p.
10. Color Data. X-Rite Incorporated. Copyright 2009. URL: [https://xritephoto.com/documents/literature/en/ColorData-1p\\_EN.pdf](https://xritephoto.com/documents/literature/en/ColorData-1p_EN.pdf). (дата обращения: 03.05.2023). Режим доступа: свободный.
11. Покровский П. Достижение максимальной резкости. М.: Высшая школа фотографии, 2019, 22 января. URL: <https://azf.ru/articles/dostizhenie-maksimalnoj-rezkosti/>. (дата обращения: 03.05.2023). Режим доступа: свободный.
12. ISO 12647-2:2004 Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints. Part 2: Offset lithographic processes. 19 p.
13. Sharma G. *Digital Color Imaging Handbook* (1.7.2 ed.). CRC Press, 2003. 764 p.
14. Марьяш А.А., Ходоренко Н.Д., Звалинский В.И., Тищенко П.Я. Органический углерод в эстуарии реки Раздольная (Амурский залив, Японское море) в период ледостава // *Геохимия*. 2015. № 8. С. 734–742. DOI: 10.7868/S001675251508004X.
15. Колесник А.Н., Босин А.А., Колесник О.Н., Саттарова В.В., Вологина Е.Г., Талденкова Е.Е., Чистякова Н.О. Цветностно-яркостные характеристики в литостратиграфии донных отложений Чукотского плато, Северный Ледовитый океан // *Геохимия*. 2018. № 3. С. 258–268. DOI: 10.7868/S0016752518030068.
16. Astakhov A.S., Shi Suefa, Darin A.V., Kalugin I.A., Hu Limin, Tsoy I.B., Kolesnik A.N., Obrezkova M.S., Alatorsev A.V., Babich V.V., Plotnikov V.V. Reconstructing ice conditions in the southern Chukchi Sea during the last millennium based on chemical composition of sediments and diatom assemblages // *Mar. Geol.* 2020. Vol. 427. 106220. DOI: 10.1016/j.margeo.2020.106220.
17. CIE 15:2004 Colorimetry. 3rd edition. CIE Central Bureau, Vienna, 2004. 79 p.
18. CIE 015:2018 Colorimetry. 4th edition. The International Commission on Illumination, Vienna, Austria, 2019. 111 p. DOI: 10.25039/TR.015.2018.
19. Hadhazy A. What are the limits of human vision? *BBC Future*, 2015, July 27. URL: <https://www.bbc.com/future/article/20150727-what-are-the-limits-of-human-vision>. (дата обращения: 28.03.2022). Режим доступа: свободный.
20. Справочник по литологии / под ред. Н.Б. Вассоевича, В.Л. Либровича, Н.В. Логвиненко, В.И. Марченко. М.: Недра, 1983. 509 с.
21. Мурдмаа И.О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 304 с.
22. Müller J., Wagner A., Fahl K., Stein R., Prange M., Lohmann G. Towards quantitative sea ice reconstructions in the northern North Atlantic: a combined biomarker and numerical modelling approach // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2011. Vol. 306, No. 34. P. 137–148. DOI: 10.1016/j.epsl.2011.04.011.

#### Об авторах

**КОЛЕСНИК Александр Николаевич**, к.г.-м.н., с.н.с.  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
ДВО РАН  
Адрес: 690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43  
Область научных интересов: морская геология, литология, геохимия, математическая статистика, палеоокеанология, плейстоцен, голоцен  
E-mail: [kolesnik\\_a@poi.dvo.ru](mailto:kolesnik_a@poi.dvo.ru)  
ORCID: 0000-0001-6258-9859

**КОЛЕСНИК Ольга Николаевна**, к.г.-м.н., с.н.с.  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
ДВО РАН  
Адрес: 690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43  
Область научных интересов: морская геология, донные осадки, породы, руды, металлы  
E-mail: [kolesnik\\_o@poi.dvo.ru](mailto:kolesnik_o@poi.dvo.ru)  
ORCID: 0000-0002-2898-8503

**ЯНЧЕНКО Елена Александровна**, к.г.-м.н., н.с.  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
ДВО РАН  
Адрес: 690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43  
**Область научных интересов:** морская геология, донные осадки, микрофоссилии, биостратиграфия, палеоокеанология  
**E-mail:** yan@poi.dvo.ru  
**ORCID:** 0000-0003-0808-3341

**БОСИН Александр Анатольевич**, к.г.н., в.н.с.  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
ДВО РАН  
Адрес: 690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43  
**Область научных интересов:** морская геология, изменения климата, палеопродуктивность, голоцен, поздний плейстоцен, стратиграфия, СЗ часть Тихого океана  
**E-mail:** bosin@poi.dvo.ru  
**ORCID:** 0000-0002-3994-2623



**Для цитирования:**

Колесник А.Н., Колесник О.Н., Янченко Е.А., Босин А.А., Василенко Ю.П., Селютин С.А., Вологина Е.Г. НОВОЕ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ЛИТОСТРАТИГРАФИИ // Подводные исследования и робототехника. 2023. № 3 (45). С. 41–55. DOI: 10.37102/1992-4429\_2023\_45\_03\_05. EDN: AVEKSM.

**ВАСИЛЕНКО Юрий Павлович**, к.г.н., с.н.с.  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
ДВО РАН  
Адрес: 690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43  
**Область научных интересов:** палеоклиматология, морская геология, седиментология, голоцен, плейстоцен, дальневосточные моря, Арктика, донные осадки, морской лед, атмосферная циркуляция  
**E-mail:** vasilenko@poi.dvo.ru  
**ORCID:** 0000-0002-2067-8869

**СЕЛЮТИН Семен Алексеевич**, аспирант  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
ДВО РАН  
Адрес: 690041 г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43  
**Область научных интересов:** морская геология, донные осадки, колориметрия, геохимия, Чукотское море  
**E-mail:** selutin.sa@poi.dvo.ru  
**ORCID:** 0000-0002-5450-5931

**ВОЛОГИНА Елена Геннадьевна**, к.г.-м.н., с.н.с.  
Институт земной коры СО РАН  
Адрес: 664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128  
**Область научных интересов:** современное осадконакопление, донные отложения  
**E-mail:** vologina@crust.irk.ru  
**ORCID:** 0000-0003-1118-9024



# A NEW COLORIMETRIC APPARATUS FOR MARINE GEOLOGY AND LITHOSTRATIGRAPHY

**A.N. Kolesnik, O.N. Kolesnik, Ye.A. Yanchenko,  
A.A. Bosin, Yu.P. Vasilenko, S.A. Selyutin, Ye.G. Vologina**

In marine geology, there is a problem of a scientific and technical nature, which consists in the inability to see, fix and, accordingly, study the color and structure of sediments in the initial state in which they are on the seabed under the water column. The natural environment of sedimentation is very different from the environment into which sediments in the form of cores fall during the sampling process (oxidizing atmosphere). The latter leads to rapid and irreversible changes in color and structure. The problem is solved by a new camera-based colorimetric apparatus. The new apparatus records the color and structure of marine sediment cores with unprecedentedly high speed and resolution, amounting to 2 min per core meter and 0.067 mm, respectively, according to ISO standards without any distortions, in contrast to the main portable colorimetric apparatus – the colorimeter. The relationship between colorimetric and geochemical characteristics of sediments and the possibility of using obtained data in lithostratigraphy and paleoreconstructions are shown. The new apparatus can be successfully applied not only in marine geology, but also in a wide variety of areas – from metallurgy to the food industry – where accurate color quantification is required.

**Keywords:** color, chroma, structure, marine sediment cores, camera-based colorimetric apparatus, colorimeter, marine geology, lithostratigraphy, paleoreconstructions

## References

1. Rothwell R.G., Rack F.R. New techniques in sediment core analysis: an introduction. *New Techniques in Sediment Core Analysis* / R.G. Rothwell (Ed.). Geological Society, London, Special Publications, 2006. Vol. 267. P. 1–29. DOI: 10.1144/GSL.SP.2006.267.01.01.
2. Kolesnik A.N., Bosin A.A. Mobile apparatus for determining colour characteristics of rocks. Patent No.: RU 2741268 C1. Date of Patent: January 22, 2021. Appl. No.: 2020115938. Filed: April 20, 2020 (in Russian with English abstract).
3. Kolesnik A.N., Bosin A.A., Kolesnik O.N., Yanchenko E.A., Vasilenko Yu.P. New method to obtain quantified data on color of marine sediments. *Dokl. Earth Sci.* 2020. Vol. 495. No. 1. P. 845–849. DOI: 10.1134/S1028334X20110070.
4. Romankevich E.A., Vetrov A.A. Cycle of Carbon in the Russian Arctic Seas. *Nauka*, Moscow, 2001. 302 p. (in Russian with English Abstract and Summary).
5. Stein R., Fahl K., Schade I., Manerung A., Wassmuth S., Niessen F., Nam S.-I. Holocene variability in sea ice cover, primary production, and Pacific-Water inflow and climate change in the Chukchi and East Siberian Seas (Arctic Ocean). *J. Quat. Sci.* 2017. Vol. 32. No. 3. P. 362–379. DOI: 10.1002/jqs.2929.
6. ISO 3664:2009 Graphic technology and photography – Viewing conditions. 34 p.
7. ISO 3668:2017 Paints and varnishes – Visual comparison of colour of paints. 8 p.
8. ISO 2469:2014 Paper, board and pulps – Measurement of diffuse radiance factor (diffuse reflectance factor). 19 p.
9. ISO 7724-2:1984 Paints and varnishes – Colorimetry – Part 2: Colour measurement. 6 p.
10. Color Data. X-Rite Incorporated, Copyright 2009. Retrieved May 3, 2023, from [https://xritephoto.com/documents/literature/en/Color-Data-1p\\_EN.pdf](https://xritephoto.com/documents/literature/en/Color-Data-1p_EN.pdf).
11. Pokrovsky P. Attain maximum sharpness. Higher School of Photography, Moscow. Retrieved May 3, 2023, from [https://azf.ru/en/en\\_articles/attain\\_maximum\\_sharpness/](https://azf.ru/en/en_articles/attain_maximum_sharpness/).
12. ISO 12647-2:2004 Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes. 19 p.
13. Sharma G. *Digital Color Imaging Handbook* (1.7.2 ed.). CRC Press, 2003. 764 p.
14. Mar'yash A.A., Khodorenko N.D., Zvalinskii V.I., Tishchenko P.Y. Organic carbon in the Razdol'naya River Estuary (Amur Bay, Sea of Japan) during the period of ice cover. *Geochem. Int.* 2015. Vol. 53. No. 8. P. 726–734. DOI: 10.1134/S0016702915080042.
15. Kolesnik A.N., Bosin A.A., Kolesnik O.N., Sattarova V.V., Vologina E.G., Taldenkova E.E., Chistyakova N.O. Implications of color and lightness characteristics for lithostratigraphy of bottom sediments from the Chukchi Plateau, Arctic Ocean. *Geochem. Int.* 2018. Vol. 56. No. 3. P. 246–255. DOI: 10.1134/S0016702918030035.
16. Astakhov A.S., Shi Suefa, Darin A.V., Kalugin I.A., Hu Limin, Tsoy I.B., Kolesnik A.N., Obrezkova M.S., Alatorsev A.V., Babich V.V., Plotnikov V.V. Reconstructing ice conditions in the southern Chukchi Sea during the last millennium based on chemical composition of sediments and diatom assemblages. *Mar. Geol.* 2020. Vol. 427. 106220. DOI: 10.1016/j.margeo.2020.106220.
17. CIE 15:2004 Colorimetry, 3rd edition. CIE Central Bureau, Vienna, 2004. 79 p.

18. CIE 015:2018 Colorimetry, 4th edition. The International Commission on Illumination, Vienna, Austria, 2019. 111 p. DOI: 10.25039/TR.015.2018.

19. Hadhazy A. What are the limits of human vision? BBC Future, 2015, July 27. Retrieved March 28, 2022, from <https://www.bbc.com/future/article/20150727-what-are-the-limits-of-human-vision>.

20. Spravochnik po litologii / Pod red. N.B. Vassoyevicha, V.L. Librovicha, N.V. Logvinenko, V.I. Marchenko. Nedra, Moskva, 1983. 509 p. [Handbook of Lithology / N.B. Vassoevich, V.L. Librovich, N.V. Logvinenko, V.I. Marchenko (Eds.). Nedra, Moscow, 1983. 509 p.] (in Russian).

21. Murdmaa I.O. Fatsii okeanov. Nauka, Moskva, 1987. 304 p. [Murdmaa I.O. Facies of the oceans. Nauka, Moscow, 1987. 304 p.] (in Russian).

22. Müller J., Wagner A., Fahl K., Stein R., Prange M., Lohmann G. Towards quantitative sea ice reconstructions in the northern North Atlantic: a combined biomarker and numerical modelling approach. Earth Planet. Sci. Lett. 2011. Vol. 306. No. 3–4. P. 137–148. DOI: 10.1016/j.epsl.2011.04.011.

## About the authors

**KOLESNIK Aleksandr Nikolayevich**, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address:** 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

**Research interests:** marine geology, lithology, geochemistry, mathematical statistics, paleoceanography, Pleistocene, Holocene

**E-mail:** kolesnik\_a@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0001-6258-9859

**KOLESNIK Ol'ga Nikolayevna**, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address:** 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

**Research interests:** marine geology, bottom sediments, rocks, ores, metals

**E-mail:** kolesnik\_o@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-2898-8503

**YANCHENKO Yelena Aleksandrovna**, Candidate of Geology and Mineralogy, Researcher

Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address:** 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

**Research interests:** marine geology, bottom sediments, microfossils, biostratigraphy, paleoceanography

**E-mail:** yan@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0003-0808-3341

**BOSIN Aleksandr Anatol'yevich**, Candidate of Geography, Leading Researcher

Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address:** 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

**Research interests:** marine geology, climate changes, paleoproductivity, Holocene, Late Pleistocene, stratigraphy, NW Pacific

**E-mail:** bosin@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-3994-2623

**VASILENKO Yuriy Pavlovich**, Candidate of Geography, Senior Researcher

Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address:** 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

**Research interests:** paleoclimatology, marine geology, sedimentology, Holocene, Pleistocene, Far Eastern seas, Arctic, bottom sediments, sea ice, atmospheric circulation

**E-mail:** vasilenko@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-2067-8869

**SELYUTIN Semyon Alekseyevich**, Postgraduate

Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

**Address:** 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russia

**Research interests:** marine geology, bottom sediments, colorimetry, geochemistry, Chukchi Sea

**E-mail:** selutin.sa@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-5450-5931

**VOLOGINA Yelena Gennad'yevna**, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Institute of the Earth's Crust SB RAS

**Address:** 128 Lermontova st., Irkutsk 664033

**Research interests:** recent sedimentation, bottom sediments

**E-mail:** vologina@crust.irk.ru

**ORCID:** 0000-0003-1118-9024

### Recommended citation:

Kolesnik A.N., Kolesnik O.N., Yanchenko Ye.A., Bosin A.A., Vasilenko Yu.P., Selyutin S.A., Vologina Ye.G. A NEW COLORIMETRIC APPARATUS FOR MARINE GEOLOGY AND LITHOSTRATIGRAPHY. Underwater investigations and robotics. 2023. No. 3 (45). P. 41–55. DOI: 10.37102/1992-4429\_2023\_45\_03\_05. EDN: AVEKSM.

