

УДК 551.35(268.56)

## ПЕРВАЯ ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

А. Н. Колесник<sup>1,\*</sup>, О. Н. Колесник<sup>1,\*\*</sup>, А. С. Астахов<sup>1</sup>, Е. Г. Вологина<sup>2</sup>

Представлено академиком РАН Г.И. Долгих 07.03.2018 г.

Поступило 21.03.2018 г.

Дана количественная характеристика цвета донных осадков Чукотского моря. Проанализированы корреляционные связи с содержанием гранулометрических фракций, химических элементов и биогенных компонентов. Учтено влияние диагенетического фактора. В вопросах литостратиграфии отмечена перспективность такого цветометрического показателя, как насыщенность *S*.

**Ключевые слова:** Чукотское море, донные отложения, терригенное осадконакопление, диагенез, цветометрические, гранулометрические, минералогические и геохимические параметры, статистическая обработка.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524874448-454>

Цветометрия, или колориметрия, — это система знаний о методах измерения и количественном выражении цвета. В морской геологии цвет донных отложений является важным признаком, который даёт первичное представление об их вещественном составе, среде осадконакопления и её временной динамике (палеорекострукции), а также о степени и характере постседиментационных изменений. Признак перспективен для использования в региональной литостратиграфической корреляции, правда, с некоторыми диагенетически обусловленными ограничениями [1, 2]. Требуется решения вопрос о соотношении сил, с которыми седиментационный и диагенетический факторы влияют на формирование цвета четвертичных осадков разных морских фаций.

В настоящем исследовании на количественном уровне разбираются отношения, которые сложились между цветовыми (оптическими), геохимическими и другими характеристиками верхней части осадочной толщи Чукотского моря, с определением роли постседиментационных трансформаций в создании этих характеристик и поиском наиболее информативных оптических величин.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использованы пробы донных осадков и железомарганцевых конкреций из различных районов Чукотского моря (рис. 1). Материал отобран авторами в морских экспедициях по российско-американскому проекту RUSALCA (2009 г., 2012 г.) и частично изучен [3–5, включая ссылки внутри]. Пробы поверхностных осадков могут быть условно разделены на две группы. Первая — типичные терригенные отложения основной площади шельфа, сложенные обломками различной размерности — песчаными, алевритовыми и глинистыми (пробы со станций G20, G28, G29, G40, G54, G63, G83, G86), вторая — алевритовые пелиты с хемогенной составляющей, конкрециеносные и гидротроилитные из каньона Геральд (пробы со станций G48, G57) (рис. 1, 2а). Конкреции рассмотрены на примере 12 образцов со станции G57 (рис. 1, 2б). Для изучения верхней части осадочной толщи взят материал, поднятый боксорером на станции b16 в северной части каньона. Это горизонт осадков мощностью 37 см (37 проб). По всему разрезу видны пятна и примазки гидротроилита.

В аналитическом процессе главное внимание уделялось извлечению из проб численной информации о цвете и химическом составе (Mn, Fe, P, S, K, Ca, Mg, Al, Si, Ti, микроэлементы) в результате фотографирования и рентгенофлуоресцентного анализа по отработанным методикам [6]. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа в целом не противоречат единичным определениям, выполненным более точными методами [3, 7, включая ссылки внутри]. Методики, по которым в донных отложе-

<sup>1</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва

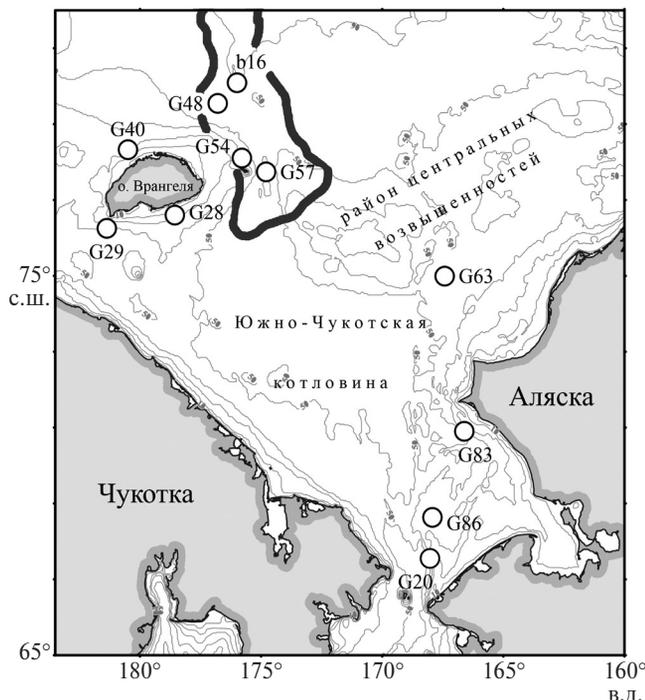
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток

<sup>2</sup> Институт земной коры  
Сибирского отделения

Российской Академии наук, Иркутск

\*E-mail: [aiaks1986@mail.ru](mailto:aiaks1986@mail.ru)

\*\*E-mail: [zeya1985.2008@mail.ru](mailto:zeya1985.2008@mail.ru)



**Рис. 1.** Карта Чукотского моря с указанием станций пробоотбора (кружки). Морфоструктуры дна оконтурены согласно данным GEVCO\_08. Жирной линией отмечен район каньона Геральд.

ниях измерялось содержание азота, углерода (в том числе органического) и гранулометрических фракций, изложены в работах [3–5]. Содержание и состав гуминовых веществ (важный показатель степени разложения органического вещества и происходящих в осадках диагенетических изменений) установлены спектрофотометрически после щелочного экстрагирования проб [8]. Представления о минеральном составе получены в рамках стандартных процедур рентгеноструктурного и иммерсионного анализов и отчасти электронно-микросондовой съёмки. Взаимосвязи между оптическими и другими характеристиками выявлены в процессе статистической обработки данных (1699 значений).

### РЕЗУЛЬТАТЫ, ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ химического и гранулометрического состава донных осадков (табл. 1) прежде всего подтвердил абсолютное доминирование в Чукотском море терригенного осадконакопления и механической сортировки вещества как основной движущей силы этого процесса. Геохимический облик осадков почти полностью определяется балансом глинистого (пелитового) и песчано-алевритового материала. Последнее находит отражение в сильной статистической зависимости компонентов (табл. 2).

Осадки мелководья, прилегающего к Аляске и крупным островам, равно как осадки районов центральных подводных возвышенностей и Берингова пролива, более всего характеризуются крупнозернистостью, высоким содержанием кремния (преимущественно за счёт кварца, полевых шпатов), циркония и титана (за счёт циркона, титанита, ильменита, лейкоксена и в меньшей степени рутила, анатаза и брукита) при минимуме органического углерода и в целом крайне слабом преобразовании органических остатков (табл. 1, группа 1). Как правило, эти осадки имеют светло-серую окраску. При разложении на оптические компоненты она даёт в первую очередь максимум светлоты  $L$  при пониженной доле зелёного цвета  $G$ . Разница между процентным содержанием красного и синего цветов ( $R, B$  соответственно) составляет 7,67%. Это пиковое для осадков значение, более существенная разница зафиксирована только в железомарганцевых конкрециях. Насыщенность  $S$  — 13,90%. Цветовой тон лежит в области жёлтого цвета ( $H = 61^\circ$ ).

Каньон Геральд наряду с Южно-Чукотской котловиной относится к крупнейшим отрицательным морфоструктурам шельфа с относительно небольшими скоростями перемещения водных масс, где естественным образом аккумулируется тонкозернистый терригенный и биогенный материал. Как следствие, осадки осевой части каньона обогащены частицами пелитовой размерности, алюминием, калием, магнием, некоторыми микроэлементами (во многом за счёт глинистых минералов с отчётливым преобладанием гидрослюды), табл. 1, группа 2. Органическое вещество, представленное главным образом морским фитопланктоном, тоже присутствует в довольно большом количестве (1,61%  $C_{орг}$ ). На геохимическом барьере вода—дно отмечаются мощные процессы его деструкции [3, 9, 10]. Степень гумификации на уровне 30% и резкое преобладание фульвовых кислот над гуминовыми свидетельствуют о раннедиагенетических изменениях, происходящих в осадочной толще. Изменения сопровождаются ростом вверх по разрезу содержания марганца и фосфора, образованием в поверхностных осадках гидроксидных и фосфатных фаз железа и марганца и стягиванием рудного вещества в конкреции (окислительный этап диагенеза), табл. 1, рис. 2. Последние имеют бурую окраску. Нижняя, обращённая к грунту сторона охристая, рыжеватая и всегда светлее верхней. Конкреции обладают совершенно особыми оптическими характеристиками. Все значения либо экстремально высокие ( $R, S$ ), либо экстремально низкие ( $G, B, L$ ). Значение цветового тона  $H$  указывает на смещение цвета в красную область

**Таблица 1.** Количественное распределение цветометрических, геохимических и гранулометрических характеристик (усреднённые значения) в донных осадках и железомарганцевых конкрециях Чукотского моря

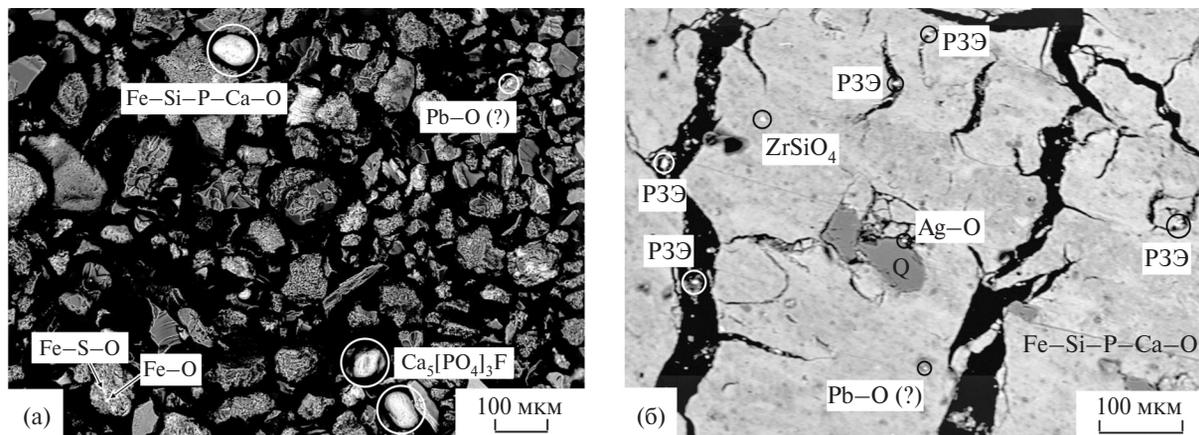
Параметр	Поверхностные осадки		Конкреции	Верхняя часть осадочной толщи				V, %
	группа 1	группа 2		0–10 см	10–20 см	20–30 см	глубже 30 см	
Цветометрические характеристики, % (кроме H, °)								
R	35,86	35,64	40,22	35,52	35,36	35,32	35,23	2,17
G	35,95	36,03	35,02	36,07	35,83	36,00	35,93	0,87
B	28,19	28,33	24,76	28,41	28,80	28,68	28,84	2,66
H	61	63	40	64	64	66	66	7,3
S	13,90	12,15	23,83	11,81	10,87	11,32	10,94	19,12
L	52,79	48,55	19,33	45,50	45,45	44,97	46,01	11,39
Макроэлементы, %								
Mn	0,0368	0,0317	5,3422(143,12)	0,0370	0,0349	0,0344	0,0337	519,79
Fe	5,37	4,74	20,94(3,65)	5,09	5,22	5,25	5,15	43,19
P	0,1366	0,1090	3,5019(22,73)	0,0807	0,0443	0,0402	0,0337	355,02
S	0,08	0,20	0,14(0,63)	0,41	0,50	0,59	0,57	44,49
K	1,57	1,61	1,29(0,76)	1,78	1,82	1,81	1,75	9,93
Ca	0,76	0,53	2,67(4,04)	0,56	0,57	0,54	0,51	61,57
Mg	1,19	1,37	1,90(1,39)	1,39	1,37	1,44	1,41	13,15
Al	5,86	5,93	2,76(0,43)	6,83	6,92	6,82	6,70	12,36
Si	35,43	33,08	11,44(0,38)	30,91	31,03	31,20	31,07	11,40
Ti	0,34	0,29	0,11(0,36)	0,34	0,34	0,34	0,33	12,08
C	0,99	1,63	1,09	1,83	1,74	1,70	1,62	18,01
N	—	—	—	0,22	0,21	0,21	0,21	7,15
Микроэлементы, г/т								
As	31,10	17,28	607,08(28,84)	16,49	16,95	20,38	19,17	264,43
Rb	72,35	79,83	35,09(0,40)	95,20	96,17	95,11	92,08	14,95
Sr	143,85	131,82	1177,00(8,48)	128,00	126,69	125,12	123,52	99,55
Y	19,87	14,36	29,96(2,14)	15,18	15,91	15,11	15,33	18,37
Zr	190,59	134,78	69,51(0,64)	122,37	124,82	124,13	123,36	26,26
Ni	27,96	29,29	65,80(1,89)	34,08	35,37	34,36	34,44	19,22
Cu	205,04	181,91	29,55(0,18)	25,26	26,76	25,22	26,01	121,60
Zn	77,27	90,67	133,54(1,25)	112,14	116,85	113,69	112,08	14,43
Pb	16,18	15,68	64,82(4,12)	18,64	19,86	19,18	18,98	36,44
Биогенные компоненты, %								
C <sub>орг</sub>	0,82	1,61	0,87	1,82	1,74	1,70	1,62	24,61
ФК	0,14	0,36	0,29	0,33	0,34	0,33	0,33	29,84
ГК	0,05	0,16	0,05	0,18	0,20	0,18	0,15	45,85
СГ	22,94	32,30	38,18	27,88	31,13	30,00	29,66	17,25
Гранулометрические фракции, %								
Ps	19,57	0,00	—	0,57	0,53	0,70	0,63	296,61
A	43,76	27,26	—	21,94	22,16	21,49	21,87	43,35
Pl	36,67	72,75	—	77,49	77,31	77,81	77,50	23,73

Примечание. Группа 1 — типичные терригенные отложения, сложенные обломками различной размерности — песчаными, алевритовыми и глинистыми; группа 2 — алевритовые пелиты с хомогенной составляющей, конкрециеносные. R, G, B — доля соответственно красного, зелёного и синего компонентов в цветовой модели, H — тон, S — насыщенность, L — светлота. C<sub>орг</sub> — органический углерод, ФК — фульвовые кислоты, ГМ — гуминовые кислоты, СГ — степень гумификации органического вещества. Ps, A, Pl — фракции песчаная (>0,1 мм), алевритовая (0,1–0,01 мм) и пелитовая (<0,01 мм) соответственно. V — коэффициент вариации. Для макроэлементов особенно низкого содержания (марганец, фосфор в осадках) точность представления данных в таблице увеличена до десятичных. Для конкреций цифра в скобках — коэффициент концентрации элемента относительно подстилающего осадка со станции G57 (группа 2). Прочерк — не анализировалось.

**Таблица 2.** Корреляционная матрица для цветовых параметров, химических элементов, биогенных компонентов и гранулометрических фракций в донных отложениях Чукотского моря

R	G	B	H	S	L	Mn	Fe	P	S	K	Ca	Mg	Al	Si	Ti	C <sub>общ</sub>	N	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ni	Cu	Zn	Pb	C <sub>орг</sub>	ФК	ГК	СГ	Ps	A	PI	
1																																		
<i>G</i>	1																																	
<i>B</i>	-0,24	1																																
<i>H</i>	-0,92	-0,17	1																															
<i>S</i>	-0,89	0,56	0,67	1																														
<i>L</i>	-0,88	0,28	0,78	0,73	1																													
<i>Mn</i>	0,88	-0,43	-0,72	-0,74	0,75	1																												
<i>Fe</i>	0,91	-0,26	-0,82	-0,72	0,74	0,93	1																											
<i>P</i>	0,92	-0,37	-0,78	-0,76	0,79	0,91	0,99	1																										
<i>S</i>	-0,44	0,02	0,44	0,47	0,57	0,27	-0,22	-0,23	-0,29	1																								
<i>K</i>	-0,46	0,17	0,40	0,46	-0,65	0,25	-0,38	-0,24	0,39	0,50	1																							
<i>Ca</i>	0,74	-0,40	-0,59	-0,69	0,71	-0,67	0,79	0,71	0,78	-0,34	-0,64	1																						
<i>Mg</i>	0,39	-0,38	-0,25	-0,40	0,31	-0,50	0,46	0,39	0,44	0,11	-0,41	0,41	1																					
<i>Al</i>	-0,77	0,11	0,74	0,64	-0,88	0,61	-0,68	-0,63	-0,72	0,55	0,84	-0,67	-0,29	1																				
<i>Si</i>	-0,67	0,26	0,58	0,49	-0,41	0,78	-0,82	-0,85	-0,80	-0,20	-0,05	-0,59	0,53	0,27	1																			
<i>Ti</i>	-0,80	0,14	0,75	0,62	-0,69	0,78	-0,79	-0,80	-0,81	0,26	0,44	-0,50	-0,36	0,77	0,60	1																		
<i>C<sub>общ</sub></i>	-0,50	0,28	0,43	0,47	-0,52	0,05	-0,43	-0,44	-0,42	0,63	0,41	-0,47	-0,10	0,56	0,08	0,38	1																	
<i>N</i>	0,07	0,02	-0,07	-0,13	0,03	-0,01	0,74	0,37	0,77	-0,18	-0,40	0,50	0,17	-0,24	-0,46	-0,11	0,91	1																
<i>As</i>	0,92	-0,39	-0,77	-0,78	0,81	-0,92	0,99	1,00	-0,28	-0,45	0,93	0,44	-0,73	-0,83	-0,85	-0,46	0,38	1,00	1															
<i>Rb</i>	-0,67	0,25	0,58	0,64	-0,82	0,49	-0,59	-0,49	-0,61	0,68	0,90	-0,74	-0,27	0,92	0,09	0,57	0,69	0,08	-0,69	1														
<i>Sr</i>	0,90	-0,41	-0,74	-0,75	0,79	-0,88	0,99	0,94	0,99	-0,26	-0,43	0,82	0,45	-0,72	-0,80	-0,77	0,43	0,62	1,00	-0,63	1													
<i>Y</i>	0,64	-0,49	-0,45	-0,67	0,55	-0,61	0,66	0,68	-0,25	-0,50	-0,24	0,57	0,39	-0,46	-0,34	-0,37	-0,68	0,19	0,70	-0,55	0,67	1												
<i>Zr</i>	-0,22	-0,14	0,28	0,05	0,02	0,34	-0,27	-0,38	-0,25	-0,50	-0,24	0,20	-0,43	-0,09	0,68	0,35	-0,40	0,11	0,28	-0,30	0,25	0,32	1											
<i>Ni</i>	0,50	-0,40	-0,34	-0,41	0,22	-0,69	0,72	0,68	0,19	0,18	0,49	0,44	-0,07	-0,86	-0,39	-0,13	0,13	0,71	0,02	0,68	0,47	0,76	-0,52	1										
<i>Cu</i>	0,11	-0,03	-0,09	-0,21	0,35	0,03	-0,07	-0,12	-0,02	-0,80	-0,54	0,06	-0,26	-0,46	0,57	-0,07	-0,57	0,06	-0,04	-0,62	-0,03	0,37	0,76	-0,78	0,63	1								
<i>Zn</i>	0,03	-0,06	0,00	0,10	-0,21	0,25	0,28	0,19	0,75	0,46	0,08	0,33	0,33	-0,69	-0,08	0,53	-0,15	0,23	0,51	0,21	0,27	-0,78	0,79	-0,22	0,42	1								
<i>Pb</i>	0,80	-0,42	-0,65	-0,64	0,70	-0,84	0,97	0,92	0,95	-0,07	-0,30	0,78	0,46	-0,60	-0,88	-0,75	-0,34	0,26	0,97	-0,50	0,96	0,58	-0,37	0,79	-0,75	0,75	1							
<i>C<sub>орг</sub></i>	-0,39	0,18	0,32	0,44	-0,54	0,23	-0,26	-0,24	-0,29	0,77	0,51	-0,38	0,02	0,57	-0,23	0,22	0,99	0,91	-0,34	0,74	-0,30	-0,68	-0,58	0,19	-0,75	0,75	0,16	1						
<i>ФК</i>	-0,22	0,12	0,18	0,37	-0,36	-0,02	-0,01	-0,02	-0,04	0,78	0,45	-0,24	0,23	0,39	-0,41	0,00	0,80	0,20	-0,07	0,59	-0,04	-0,54	-0,63	0,35	-0,76	0,81	0,12	0,90	1					
<i>ГК</i>	-0,43	0,24	0,35	0,56	-0,52	0,26	-0,26	-0,26	-0,30	0,81	0,52	-0,41	0,05	0,56	-0,17	0,23	0,84	0,10	-0,35	0,71	-0,30	-0,67	-0,52	0,15	-0,72	0,72	-0,14	0,91	0,89	1				
<i>СГ</i>	0,10	-0,15	-0,05	0,04	-0,28	0,35	0,27	0,31	0,43	0,23	0,04	0,40	0,00	-0,47	-0,26	-0,02	-0,64	0,33	0,13	0,33	-0,09	-0,34	0,39	-0,46	0,53	0,46	0,30	0,66	0,52	1				
<i>Ps</i>	0,32	-0,09	-0,17	-0,38	0,42	0,03	0,27	0,03	0,11	-0,53	-0,37	0,07	-0,19	-0,43	0,57	-0,21	-0,63	0,14	0,00	-0,48	0,03	0,40	0,32	-0,29	0,55	-0,55	-0,27	-0,56	-0,60	-0,51	1			
<i>A</i>	0,22	-0,17	-0,06	-0,33	0,44	0,09	0,15	-0,22	0,23	-0,63	-0,54	0,68	-0,18	-0,40	0,59	0,39	-0,36	0,35	0,21	-0,69	0,61	0,58	0,69	-0,39	0,65	-0,67	-0,67	-0,68	-0,67	-0,50	0,10	1		
<i>PI</i>	-0,36	0,18	0,15	0,47	-0,58	-0,08	-0,28	0,13	-0,23	0,78	0,61	-0,49	0,21	0,55	-0,78	-0,12	0,73	-0,27	-0,11	0,79	-0,43	-0,66	-0,68	0,46	-0,81	0,82	0,62	0,83	0,87	0,81	0,62	-0,75	-0,74	1

Примечание. Расшировка буквенных обозначений дана в примечании к табл. 1. Значимость парных коэффициентов корреляции определялась по критерию Пирсона при вероятности ошибки  $p < 0,05$ . Полужирным шрифтом выделены коэффициенты, указывающие на наличие значимой положительной связи между параметрами, курсивом — значимой отрицательной.



**Рис. 2.** Поверхностные донные осадки (а) и железомарганцевые конкреции (б) каньона Геральд Чукотского моря (микроизображения в отражённых электронах). Песчано-алевритовый (терригенный) материал осадков представлен преимущественно кварцем (Q) и полевыми шпатами с редкими зёрнами рудных минералов (например, Pb–O, ZrSiO<sub>4</sub>, Ag–O, P3Э — фазы лёгких лантаноидов и др.). Материал присутствует в конкрециях в качестве механической примеси. Некоторые аутигенные компоненты осадков практически полностью повторяют состав рудного вещества конкреций (Fe–Si–P–Ca–O). На рисунке приводится упрощённый состав минеральных фаз, полученный в результате электронно-микроскопического анализа.

(табл. 1). Степень гумификации органического вещества, заключённого в конкрециях, приближается к 40% и оценивается как значительная. На поверхности и в подповерхностных слоях осадков каньона Геральд наблюдаются условия [9, 10], особенно благоприятные для появления апатитовых фаз, а также сульфидов железа (сульфатредукция, восстановительный этап диагенеза). В каньоне поверхностные осадки содержат значительно больше серы, чем на остальной изученной площади шельфа, и вместе с тем меньше железа, марганца, фосфора (связано с вовлечением элементов в процесс конкрециеобразования). Осадки достаточно тёмные. Местами их окраска близка к чёрной (глубокой серой) за счёт очагового присутствия гидротроилита. Соответствующие количественные показатели приведены в табл. 1. Первоочередного внимания заслуживают сравнительно низкие значения светлоты  $L$  и насыщенности  $S$ . Увеличение угла цветового тона  $H$  указывает на преобладание оттенков жёлтого цвета в окраске осадков. Разность между долями красного ( $R$ ) и синего ( $B$ ) цветов составляет 7,31%. При движении вглубь разреза окраска меняется слабо. Верхняя часть толщи представлена монотонными серыми, зеленовато-серыми, оливково-серыми отложениями с темноцветными выделениями гидротроилита. Оттенки зелёного — признак дефицита органического углерода и преобладания “первичных” восстановленных форм железа над окисленными [2]. Судя по коэффициентам вариации и концентрации (табл. 1 с примечаниями), в (пост)седиментационных процессах очень активно ведут себя марганец и фосфор, а также железо, кальций и сера,

из микроэлементов — однозначно мышьяк, стронций. Из оптических характеристик наиболее вариabельными являются насыщенность  $S$  и светлота  $L$ , крайне инертным — процентное содержание в пробах зелёного цвета  $G$ .

Связи, которые имеются у оптических характеристик с компонентами химического и гранулометрического составов, раскрыты в результате корреляционного анализа (табл. 2). С учётом наиболее сильных прямых связей в пространстве главных факторов выделено 4 группы. Первые две представляют терригенную часть донных отложений — средне- и мелкообломочную (рис. 3, I, II). Изоляция групп неполная, с сообщением через оптический ( $L$ ) и геохимический (Si) показатели. Обособление связано с различиями в поведении компонентов при минералогической и гранулометрической дифференциации осадочного материала. Важную роль играет баланс форм нахождения химических элементов — в виде самостоятельных минералов и/или изоморфной примеси в минералах. Из оптических показателей в группу I, кроме упомянутой светлоты  $L$ , вошли также цветовой тон  $H$  и доля синего цвета  $B$ . Третья и четвёртая группы — это условно аутигенная (диагенетическая) и глинистая часть донных отложений (рис. 3, III, IV). Взаимодействие компонентов двух групп (хорошо прослеживается через азот) объясняется переходом от окислительных условий среды к восстановительным в процессе распада органического вещества с частичным (локальным, нишевым) наложением анаэробной стадии диагенеза на аэробную. Определяющая форма нахождения химических элементов — коллоидная,

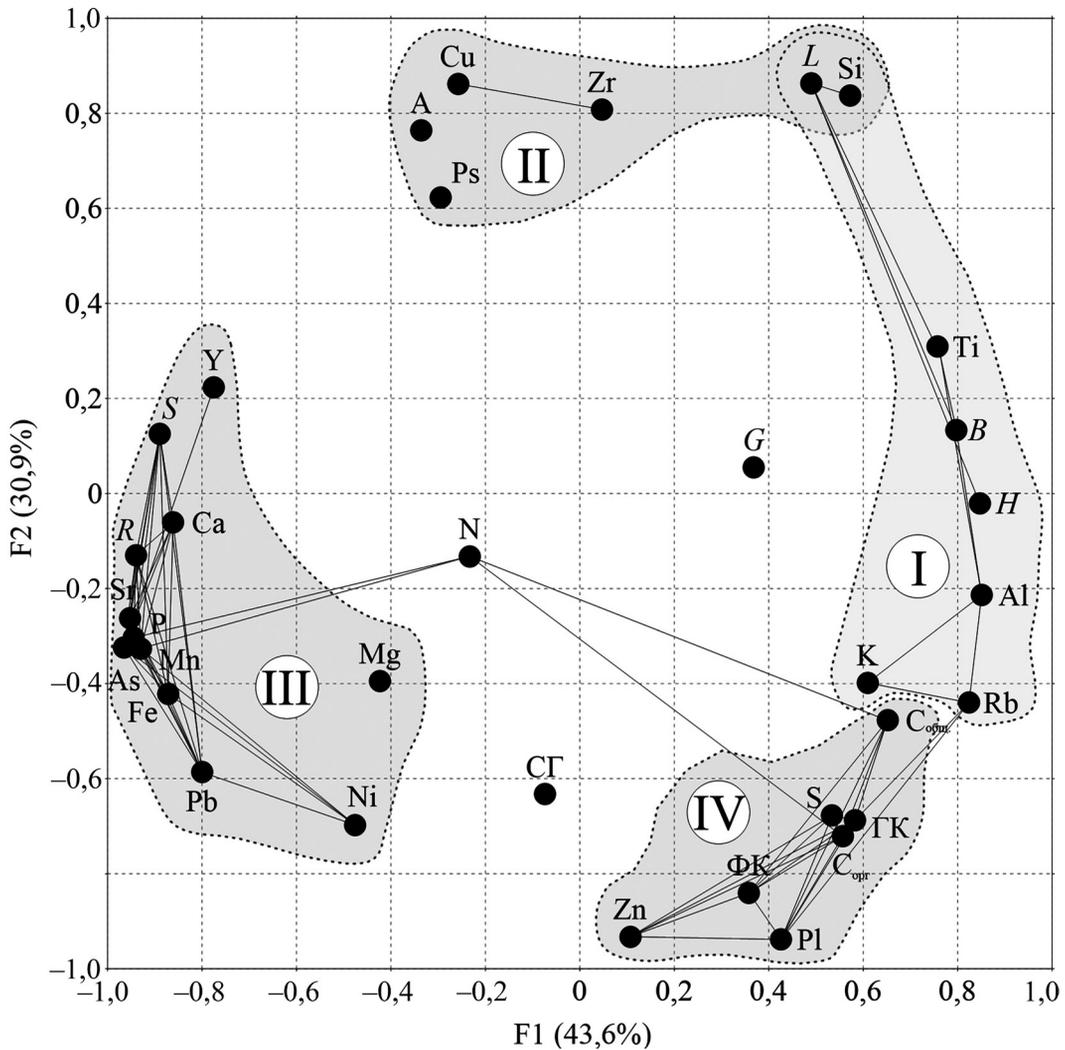


Рис. 3. График нагрузок доминирующих факторов (F) на оптико-геохимические, геохимические и гранулометрические характеристики донных отложений Чукотского моря. Линиями отмечены сильные прямые корреляционные связи ( $r \geq 0,7$ ). I–IV — ассоциации (группы).

сорбированная. Оптические показатели в группе III представлены насыщенностью  $S$  и процентным содержанием в пробах красного цвета  $R$ .

### ВЫВОДЫ

По результатам количественной оценки цветовых характеристик донных отложений Чукотского моря с привлечением массы геохимических, гранулометрических и отчасти минералогических данных выделен наиболее информативный оптический показатель — насыщенность  $S$ . Величина демонстрирует широкий диапазон значений и предельное количество статистически значимых связей с терригенными, биогенными и в особенности аутигенными компонентами осадков (табл. 1, 2, рис. 3), а следовательно, обладает высокой чувствительностью к изменениям условий осадконакопления. Анализ и обобщение данных показали, что значения

на уровне 13–14% характерны для терригенных осадков без заметной примеси биогенных и аутигенных компонентов, с минимальным преобразованием органического вещества (степень гумификации на уровне около 20%). Подобные отложения широко развиты на арктическом шельфе [3, 11, включая ссылки внутри]. Отклонение в сторону больших или меньших значений указывает на сравнительно глубокую переработку органики (степень гумификации на уровне 30% и более). Величина  $S \geq 20\%$  — потенциальный индикатор активных окислительно-восстановительных процессов, протекающих в осадках с участием кислорода и кислородных соединений железа и марганца и образованием железомарганцевых конкреций. Последние как наиболее чистый продукт окислительного диагенеза обладают пиковыми значениями насыщенности  $S$  (порядка 23%) и степени гумификации (почти 40%). Значения

$S < 13\%$  свидетельствуют о наступлении в осадках, обогащённых детритом, анаэробной стадии переработки органического вещества с доминированием процессов сульфатредукции и образованием гидро-троилита. Выводы, сделанные по Чукотскому морю, дополняют содержание немногочисленных работ по количественному изучению цвета донных отложений океана [1, 2, 6, 12 и др.] и могут использоваться в районах со схожими условиями осадконакопления.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 17–77–10043).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stein R., Matthiessen J., Niessen F., et al. // *Polarforschung*. 2010. V. 79. № 2. P. 97–121.
2. Левитан М.А., Сыромятников К.В., Рощина И.А., Штайн Р. // *Геохимия*. 2014. № 3. С. 223–248.
3. Колесник А.Н., Астахов А.С., Колесник О.Н. // *Геология и геофизика*. 2017. Т. 58. № 12. С. 1853–1866.
4. Вологина Е.Г., Штурм М., Калугин И.А. и др. // *ДАН*. 2016. Т. 469. № 5. С. 597–601.
5. Вологина Е.Г., Калугин И.А., Дарьин А.В. и др. // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. Т. 9. № 1. С. 199–219.
6. Колесник А.Н., Босин А.А., Колесник О.Н. и др. // *Геохимия*. 2018. № 3. С. 258–268.
7. Батулин Г.Н., Дубинчук В.Т. // *ДАН*. 2011. Т. 440. № 1. С. 93–99.
8. Ходоренко Н.Д., Волкова Т.И., Звалинский В.И., Тищенко П.Я. // *Геохимия*. 2012. № 4. С. 423–430.
9. Саввичев А.С., Русанов И.И., Пименов Н.В. и др. // *Микробиология*. 2007. Т. 76. № 5. С. 682–693.
10. Леин А.Ю., Саввичев А.С., Русанов И.И. и др. // *Литология и полез. ископаемые*. 2007. № 3. С. 247–266.
11. Кошелева В.А., Яшин Д.С. *Донные осадки арктических морей России*. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. 286 с.
12. Stanley D.J. *Atlantic Continental Shelf and Slope of the United States — Color of Marine Sediments*. Geological Survey Professional Paper 529-D / Wash.: U.S. Government Printing Office, 1969. 12 p.

## THE FIRST COLORIMETRIC CHARACTERISTIC OF THE BOTTOM SEDIMENTS FROM THE CHUKCHI SEA

A. N. Kolesnik<sup>1</sup>, O. N. Kolesnik<sup>1</sup>, A. S. Astakhov<sup>1</sup>, E. G. Vologina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Institute of the Earth's Crust Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS G.I. Dolgikh March 7, 2018

Received March 21, 2018

The paper gives a quantitative characteristic of the Chukchi Sea bottom sediments' color and considers its correlations with the content of grain-size fractions, chemical elements, and biogenic components taking into account the diagenetic factor. The prospect for lithostratigraphy of such a colorimetric index as saturation  $S$  is noted.

**Keywords:** Chukchi Sea, bottom sediments, terrigenous sedimentation, diagenesis, colorimetric, grain-size, mineralogical, and geochemical parameters, statistical processing.