

СТРАТИГРАФИЯ

УДК 551.35 (268.56)

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К СТРАТИГРАФИЧЕСКОМУ РАСЧЛЕНЕНИЮ МОНОТОННЫХ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

© 2023 г. А. Н. Колесник^{1,*}, С. А. Селютин¹, О. Н. Колесник¹, А. А. Босин¹, А. С. Астахов¹,
Е. Г. Вологина², Е. Н. Суховеев¹, И. И. Баженов¹

Представлено академиком РАН Г.И. Долгих 15.05.2023

Поступило 15.05.2023 г.

После доработки 19.06.2023 г.

Принято к публикации 20.06.2023 г.

В статье описан подход, при котором уже в море по результатам экспресс-анализа визуально однотипных кернов арктических голоценовых осадков и их сопоставления с датированными и в целом подробно изученными кернами осадков региона можно обоснованно выбрать материал, перспективный для стратиграфического расчленения, корреляции, палеорекоonstrukций. Набор анализируемых параметров: литологические, колориметрические (CIE L*, CIE a*, CIE b*), геофизические (магнитная восприимчивость — MB), геохимические (Fe/Rb, Mn/Rb, Ti/Rb). Наиболее информативные характеристики — цветовая координата CIE b*, MB, отношение Fe/Rb.

Ключевые слова: керны осадков, литология, колориметрия, магнитная восприимчивость, геохимия, нормальность распределения, арктический шельф, стратиграфия, голоцен

DOI: 10.31857/S2686739723601011, EDN: DXRMTD

ВВЕДЕНИЕ

Керны осадочных отложений являются основным источником информации о характере морского дна, истории седиментации, изменениях окружающей среды [1]. Стратиграфия донных осадков — основа палеоклиматических и палеоокеанологических реконструкций.

Стратиграфия мелководных (шельфовых) отложений в Арктике представляет немалые трудности. Осадки арктического шельфа подвержены воздействию волнений, течений, льдов. Они диагенетически изменены, биотурбированы; ходы морских червей проникают на более чем полуметровую глубину, вовлекая из верхних горизонтов коричневые окисленные илы и воду в нижележащие серые восстановленные отложения. Карбонаты в осадках растворяются холодными, обогащенными диоксидом углерода и недонасыщенными карбонатом кальция водами. В органическом веществе, которое в большом количестве

поступает в осадки арктического шельфа, значительна доля терригенной составляющей; наблюдается существенное разбавление морских вод речными водами [2, 3]. В связи с этим становятся проблематичными радиоуглеродное датирование и применение стандартных изотопно-кислородных шкал для построения возрастных моделей. Кроме того, в зонах аккумуляции (приустьевые части рек, понижения морского дна) отмечается значительная, 5 м и более, мощность голоценовых отложений, которые накоплены в относительно мало контрастных условиях и поэтому по большей части визуально очень похожи (монотонная толща) [4, 5]. Такие отложения не “пробируются” грунтовыми трубками, которые обычно используют при геологическом опробовании морского дна. В рамках одной экспедиции на арктическом шельфе отрабатываются десятки геологических станций. На борт судна поднимается большое количество внешне однотипных кернов осадков значительной (до 4.5 м) длины. Далеко не все эти керны пригодны для последующих детальных исследований, стратиграфического расчленения, корреляции, а в итоге — для палеорекоonstrukций. Керны, выбранные для детальных исследований “на глаз”, нередко оказываются неперспективными. Затрачивается большое количество времени и денежных средств без получения научного результата.

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

²Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

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

Смысл нашей работы заключался в том, чтобы при минимальных затратах аналитических ресурсов и времени, на уровне возможностей современной науки, аргументированно выбрать среди большого объема визуально однотипных кернов голоценовых арктических осадков те, которые более всего пригодны для детального изучения, стратиграфического расчленения, корреляции, палеорекопструкций. Работы, рассматривающие последние достижения в области аналитических технологий и перспективы применения этих технологий для анализа кернов осадков, крайне востребованы [1], однако достаточно быстро устаревают в связи с развитием технологий. Ревизия требуется как минимум каждые 15–20 лет.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основой для работы послужили 25 кернов осадков длиной от 57 до 445 см из Центрально-Чукотской котловины Чукотского моря (рис. 1). Центрально-Чукотская котловина – это крупнейшая в Чукотском море отрицательная форма рельефа, где преобладают процессы аккумуляции биогенно-терригенного материала и формируется стратиграфически наиболее полная голоценовая толща [10]. Керна отобраны грунтовой трубкой с глубин 47–56 м в российских и российско-китайских экспедициях на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” в 2016–2021 гг. Предварительно для получения данных о структуре верхней части осадочного чехла и строении акустического фундамента с выбором точек для геологического опробования проводилось сейсмоакустическое профилирование с помощью профилографа GeoPulse Subbottom Profiler (GeoAcoustics, Великобритания). Литологическое описание кернов с составлением литологических схем выполнялось в условиях экспедиции по общепринятой схеме сразу после выемки из пробоотборника и продольного распила метровых секций. Все аналитические работы велись по этим продольным распилам и носили экспрессный (ускоренный и упрощенный) характер; осадки находились в естественном ненарушенном состоянии. Для фиксации текстуры и получения количественных характеристик цвета осадков было организовано сканирование с помощью оригинальный колориметрической установки на базе цифрового фотоаппарата Canon EOS 6d Mark с объективом Canon EF 50mm f/1.2L USM (Canon, Япония) [11]. Информация о цвете записывалась в координатах цветовой модели CIE 1976 $L^*a^*b^*$, работа велась в соответствии с международными стандартами ISO 3664:2009, ISO 3668:2017. Магнитная восприимчивость MB измерялась с помощью каппаметра KT-6 (SatisGeo, Чехия). Химический состав определялся методом рентгенофлуоресцентного сканирования [12] с помощью спектрометра

Olympus Vanta (Olympus Scientific Solutions Americas, США). Содержание всех элементов нормировалось по рубидию [13]. Сопоставление с датированными и в целом подробно изученными кернами осадков региона выполнялось по кривым распределения наиболее популярных колориметрических, геофизических и геохимических характеристик с учетом результатов литологического описания и после тестирования распределения данных на нормальность. Тестирование проводилось для подтверждения однотипности осадочных разрезов и проверки их на наличие аномалий, требующих отдельного рассмотрения. Тот материал, в котором подтверждалось нормальное распределение характеристик и который хорошо привязывался по этим характеристикам к датированным кернам, считался перспективным для дальнейшего детального изучения, стратиграфического расчленения, корреляции, палеорекопструкций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Судя по сейсмоакустическим записям, верхний голоценовый слой осадков Центрально-Чукотской котловины представляет собой монотонную толщу значительной мощности. На рис. 2 показан один из широтных профилей, где видно, что нарастание мощности идет от западного борта котловины (около 8 м осадков) через ее центральную часть (почти 9 м) к восточному борту (около 11 м). Данные не противоречат ранее опубликованным [4, 5, 8, 10], согласно которым котловина выполнена толщей осадков, зондируемая мощность которых превышает 200 м, мощность верхнего голоценового слоя составляет 5–10 м. На сейсмограммах фиксируется до пяти отражающих границ, некоторые указывают на перерывы в осадконакоплении, хотя заполнение котловины было в общем устойчивым и длительным [10].

По результатам литологического описания, все керны осадков Центрально-Чукотской котловины сложены однотипным материалом (рис. 3). В основном это пелитовый алевролит или алевроитовый пелит, в некоторых случаях с небольшой примесью песка. Консистенция от мягкой в верхней части кернов до более плотной в нижней. Цвет серый, оливково-серый (восстановленные осадки). Присутствуют черные пятна гидротроилита, следы биотурбации, фрагменты и детрит раковин моллюсков. Все это характерные черты голоценовых отложений, отличающих их от плейстоценовых [5]. Верхний коричневатый (окисленный) слой в изученных кернах осадков зрительно не фиксируется, что объясняется размытием верхней части осадочного разреза при отборе грунтовой трубкой и малой мощностью самого слоя вплоть до его полного отсутствия. Последнее – специфика осадков мелководной (глубины менее 100 м) зоны

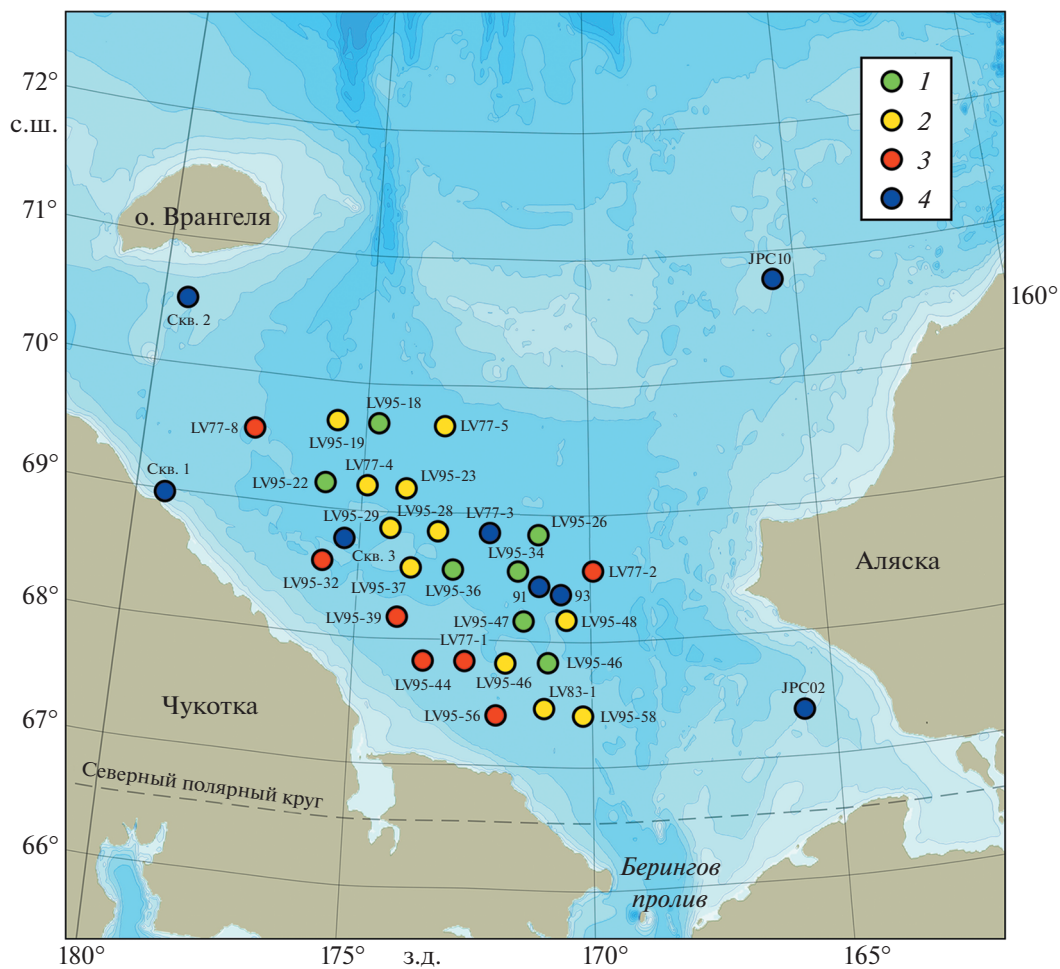


Рис. 1. Карта Чукотского моря со станциями отбора длинных (не менее 50 см) кернов голоценовых осадков. 1–3 – керны, проанализированные экспресс-методами на предмет перспективности для стратиграфического расчленения, корреляции, палеореконокструкций (фактический материал): 1 – перспективные; 2 – малоперспективные; 3 – неперспективные; 4 – датированные керны: JPC02 – [6]; JPC10 – [7]; 91, 93, скв. 1–3, – [8]; LV77-3 [9].

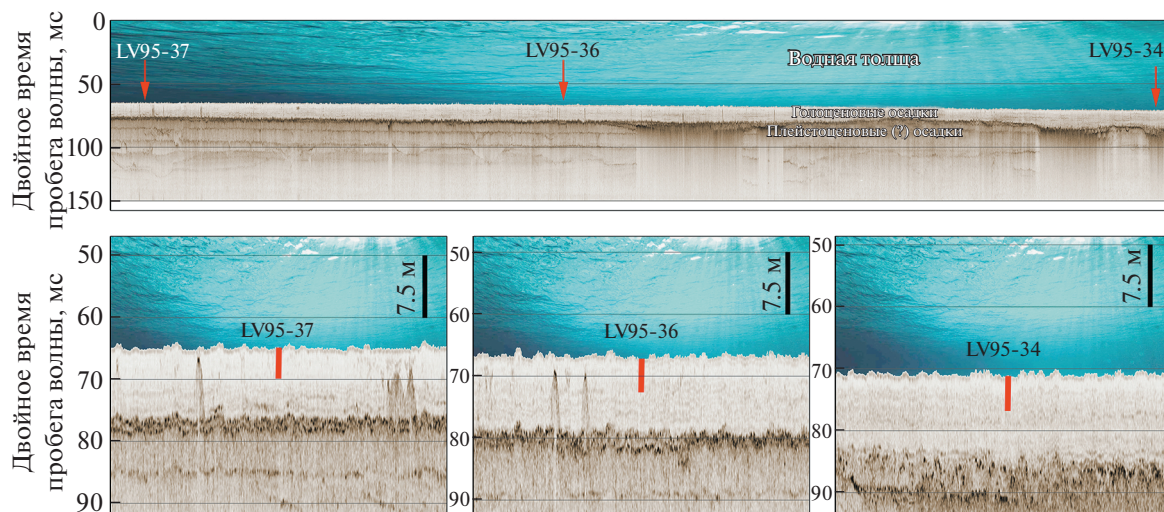


Рис. 2. Сейсмоакустический профиль в районе отбора кернов осадков LV95-34, LV95-36, LV95-37 (см. рис. 1) с указанием точек отбора и длины кернов относительно мощности осадочной толщи.

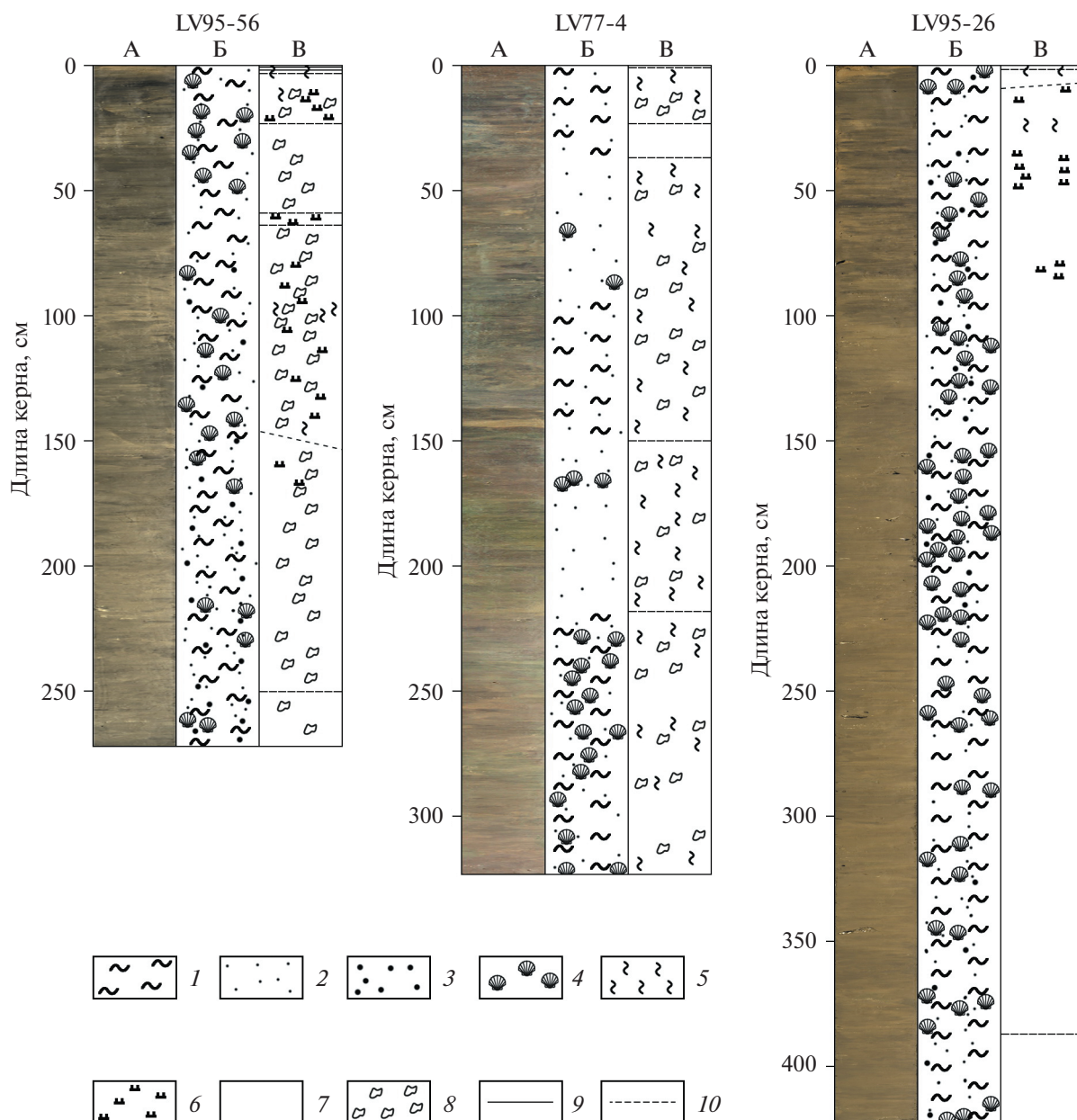


Рис. 3. Фотографии (А) и литологические схемы (Б – общее строение, В – текстура) кернов осадков из Центрально-Чукотской котловины Чукотского моря. 1 – пелит; 2 – алеврит; 3 – песок; 4 – ракуша, раковинный детрит; 5 – биотурбация; 6 – гидротроилит; 7 – однородная текстура; 8 – пятнистая текстура; 9 – четкие границы; 10 – нечеткие границы.

арктических морей. В мелководной зоне Чукотского моря мощность верхнего окисленного слоя не превышает нескольких миллиметров [4]. Имеет место восстановительный тип диагенеза с локальными проявлениями субокислительного.

Согласно результатам, полученным при колориметрическом сканировании, керны осадков Центрально-Чукотской котловины характеризуются значениями цветовой координаты CIE L* (ахроматическая составляющая цвета, светлота) в интервале 16.944–34.179% при среднем 28.044%

(табл. 1). Абсолютное большинство значений сгруппировано вокруг среднего, которое практически совпадает с медианным; распределение близко к нормальному: гистограмма распределения частот имеет форму, близкую к симметричной колоколообразной (рис. 4). Визуально это проявляется в довольно слабом цветоразличии осадков. Их окраска воспринимается в оттенках серого с малой долей хроматической составляющей (рис. 3). С учетом специфики постседиментационных процессов, которые протекают на ос-

Таблица 1. Основные статистические характеристики выборок для наборов данных по цвету (CIE L*, CIE a*, CIE b*), магнитной восприимчивости (МВ) и химическому составу (Fe/Rb, Mn/Rb, Ti/Rb) кернов осадков Центрально-Чукотской котловины Чукотского моря

Параметр	Статистические характеристики					
	$x_{\min}$	$x_{\max}$	μ	Me	σ	V, %
CIE L*	16.944	34.179	28.044	28.412	2.56	9.1
CIE a*	−2.240	0.433	−0.968	−0.949	0.38	39.2
CIE b*	−4.850	9.423	1.696	1.510	2.25	132.8
МВ	−0.08	0.51	0.11	0.08	0.10	91.7
Fe/Rb	163.64	849.57	440.72	440.43	79.41	18.02
Mn/Rb	1.15	11.72	3.35	3.26	0.78	23.40
Ti/Rb	5.45	96.07	34.93	34.81	7.64	21.90

$x_{\min}$ — минимальное значение, $x_{\max}$ — максимальное значение, μ — среднее арифметическое значение, Me — медианное значение, σ — стандартное отклонение, V — коэффициент вариации.

новой площади арктического шельфа (восстановительный тип диагенеза, развитие черных гидротроилитовых примазок и сгустков), координата CIE L* хорошо фиксирует именно диагенетические изменения восстановительного характера. Вариации хроматической составляющей (координаты CIE a* и CIE b*) имеют в изученных кернах более существенный размах: от −2.240 до 0.433 при среднем −0.968 и от −4.850 до 9.423 при среднем 1.696 соответственно (табл. 1, рис. 5). Значения CIE a* и CIE b* сгруппированы вокруг среднего и близкого к нему медианного значений (рис. 4, табл. 1). Распределение близко к нормальному: гистограммы распределения частот имеют почти симметричную колоколообразную форму. Визуально это проявляется в присутствии в окраске осадков оттенков желтого и зеленого цвета (рис. 3). В некоторых кернах по комбинации координат CIE a* и CIE b* выделяется верхний окисленный слой, который не был выделен при литологическом описании (рис. 5). Значения CIE a* в верхней части таких кернов смещаются в область красного цвета, а значения CIE b* — в область желтого (получается охристый цвет). Подобная картина с хроматической составляющей наблюдается и в нижней части некоторых кернов. В целом при экспресс-анализе фактического материала более информативной показала себя координата CIE b*, поскольку ее вариации более существенны.

По результатам каппаметрических работ, значения магнитной восприимчивости МВ в кернах осадков Центрально-Чукотской котловины изменяются от -0.08×10^{-5} ед. СИ до 0.51×10^{-5} ед. СИ при среднем значении 0.11×10^{-5} ед. СИ (табл. 1, рис. 5). Большинство значений лежит вблизи среднего, но в распределении наблюдается положительная асимметрия (рис. 4). Это говорит о преобладании в выборке значений, превышающих среднее. Повышенные значения МВ отмеча-

ются в верхних частях кернов. В кернах, отобранных близко к суше (вблизи источников сноса терригенного осадочного материала), мощность горизонта с повышенными значениями МВ составляет 1.5 м, на удалении — 0.5 м (рис. 1, 5). В средних и нижних частях кернов регистрируются минимальные (отрицательные) значения МВ. В мелкозернистых осадках величина МВ, как известно, зависит от процентного содержания тяжелых минералов (прямая зависимость) [14]. Минералогическими исследованиями показано [15], что вниз по разрезу от голоцена к позднему плейстоцену наблюдается снижение выхода тяжелой фракции, в том числе содержания черных рудных минералов и граната (наиболее устойчивые тяжелые минералы). Предполагается, что последнее связано со значимым влиянием на формирование голоценовых осадков терригенного материала рыхлых четвертичных отложений, претерпевших естественное шлихование в палеобассейне [15]. При оценке характера распределения величины МВ необходимо учитывать разбавляющую роль биогенного немагнитного материала (обратная зависимость). В нашем случае необходимость связана с высоким (до 14%) содержанием в осадках Центрально-Чукотской котловины аморфного кремнезема [5, 10, 15]. Слабокремнистые илы — особенность Чукотского моря, отличающая его от других арктических морей.

Из всех химических элементов, которые определялись в кернах осадков Центрально-Чукотской котловины в процессе рентгенофлуоресцентного сканирования, контрастное распределение показали железо (рис. 5), марганец и титан. Первые два элемента относятся к редокс-чувствительным, последний — к геохимически инертным. Значения Fe/Rb варьируют в пределах 163.64–849.57 при среднем 440.72 (табл. 1). Для Mn/Rb и Ti/Rb это соответственно 1.15–11.72 при среднем 3.35 и 5.45–96.07 при среднем 34.93. Ос-

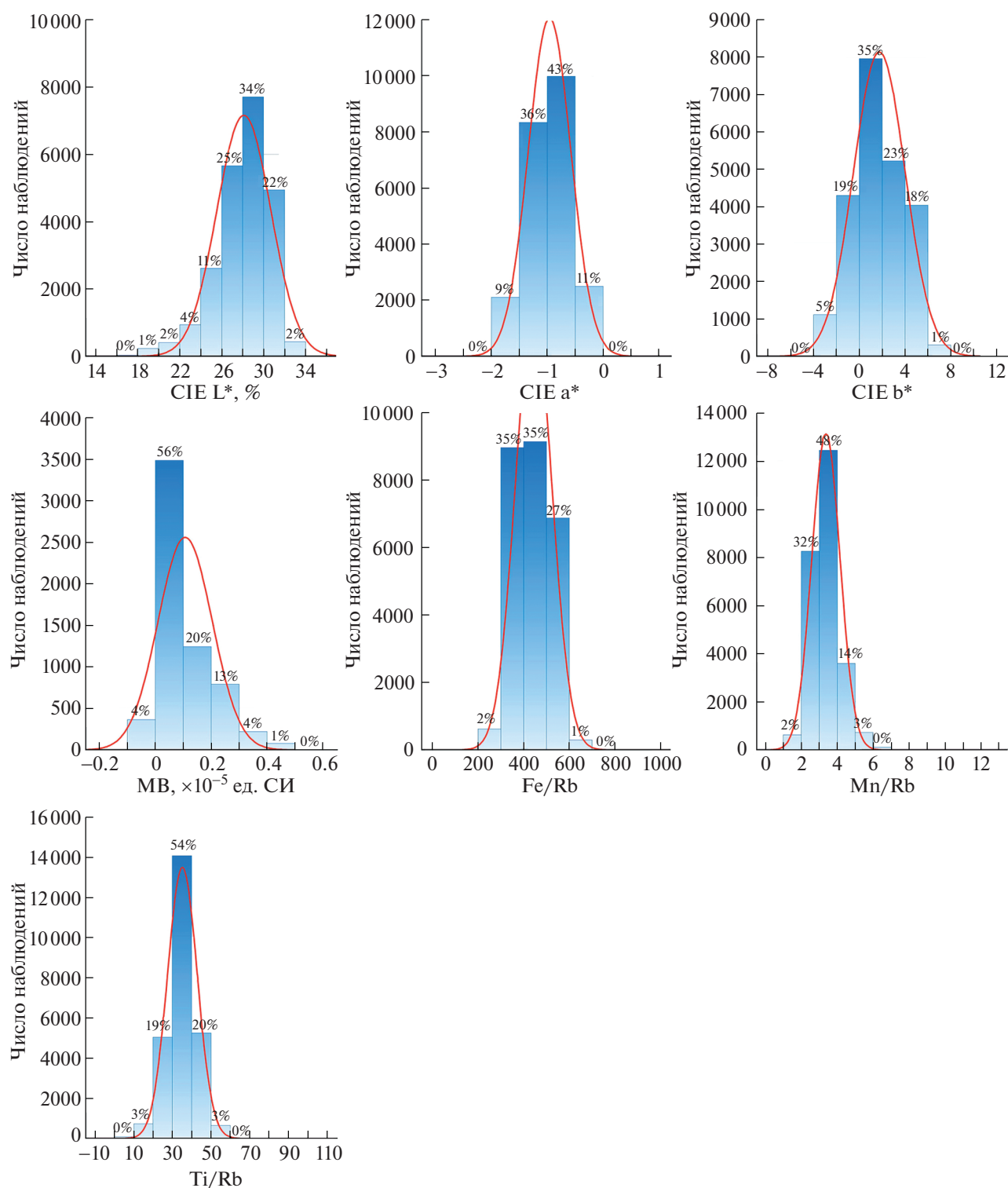


Рис. 4. Частотное распределение значений цветовых координат (CIE L*, CIE a*, CIE b*), магнитной восприимчивости (МВ) и нормированного по рубидию содержания железа, марганца и титана (Fe/Rb, Mn/Rb, Ti/Rb) в кернах осадков Центрально-Чукотской котловины Чукотского моря. Красная линия — кривая нормального распределения.

новная масса значений для каждого геохимического отношения сосредоточена вблизи среднего (рис. 4). При этом к нормальному ближе всего

распределение Ti/Rb. Гистограмма распределения частот для Ti/Rb симметрична и достаточно хорошо вписывается в границы теоретических

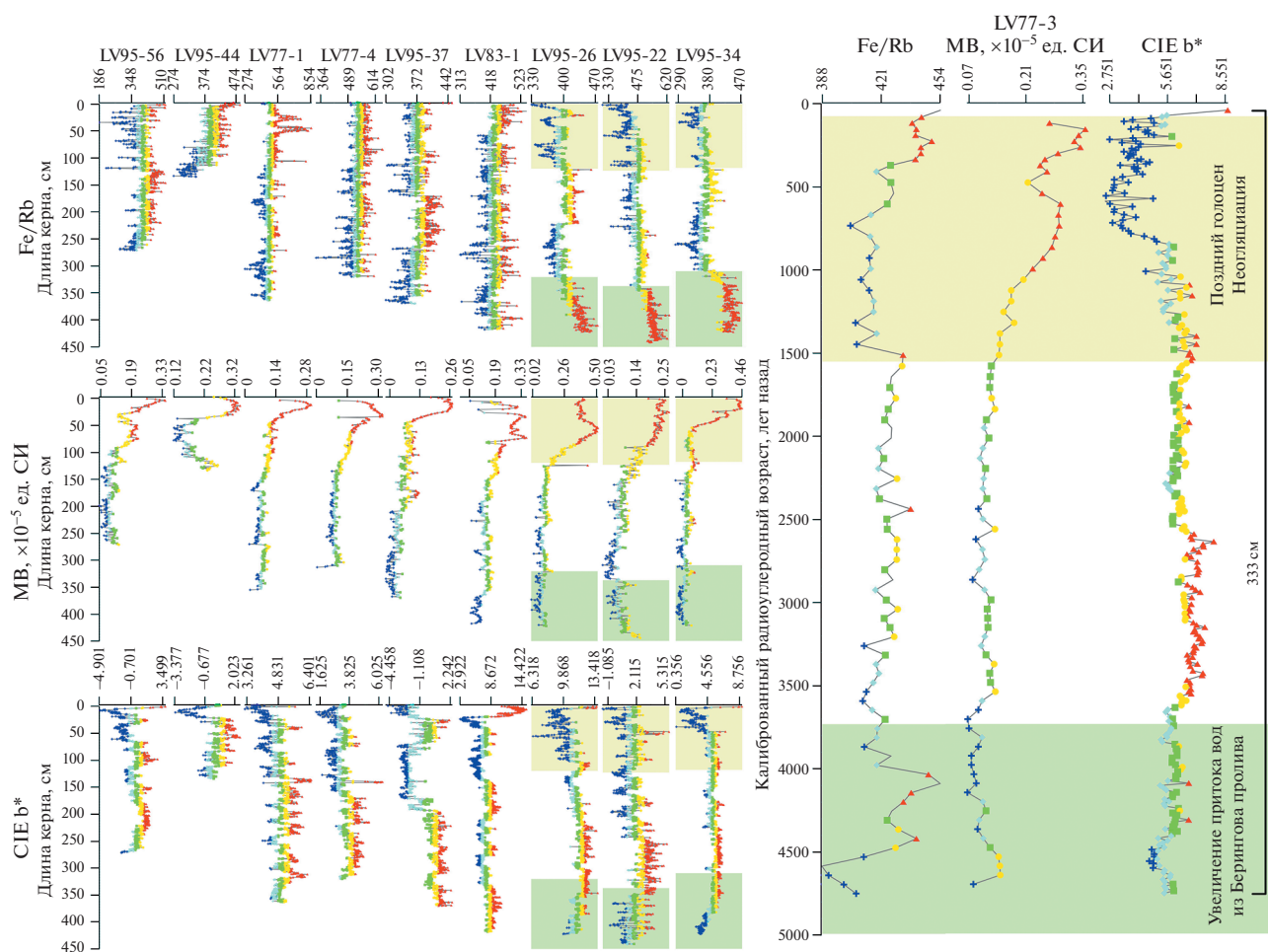


Рис. 5. Стратиграфическое расчленение кернов осадков Центрально-Чукотской котловины Чукотского моря (фактический материал) по результатам сопоставления с датированным керном LV77-3 [9]. Цветом в кривых распределения нормированного по рубидию содержания железа Fe/Rb, магнитной восприимчивости MB и цветовой координаты CIE b* обозначены повышенные (красный), слабо повышенные (желтый), нейтральные (зеленый), слабо пониженные (голубой) и пониженные (синий) значения относительно среднего значения по керну.

значений (кривая нормального распределения). На гистограммах для Fe/Rb и Mn/Rb видна положительная асимметрия (рис. 4). Это связано тем, что почти во всех кернах осадков есть интервалы с содержанием железа (рис. 5) и марганца, которое существенно отличается от средних значений. Полученные геохимические данные в целом согласуются с данными опубликованными в целом численными данными по Центрально-Чукотской котловине [10, 15]. Перепады в содержании железа на фоне малой геохимической подвижности относительно марганца — элемента, который не фиксируется в восстановленных осадках мелководного шельфа в виде минеральных фаз и мигрирует в морскую воду — позволяют при сопоставлении анализируемого материала с датированными кернами ориентироваться прежде всего на железо. Железо (соотношение Fe^{3+} и Fe^{2+}) в совокупности с лабильным органическим веще-

ством почти полностью определяет цвет осадков (ахроматическая и хроматическая составляющие).

По результатам сопоставления кернов осадков Центрально-Чукотской котловины, проанализированных нами экспресс-методами, с датированным и в целом подробно изученным материалом региона выделено три группы кернов с разной степенью пригодности для стратиграфического расчленения, корреляции, палеореконокструкций (рис. 1). Перспективными оказались керны из центральной части Центрально-Чукотской котловины. Средняя длина этих кернов — почти 4 м. Распределение в них значений магнитной восприимчивости, колориметрических и геохимических характеристик подчиняется закону нормального распределения и достаточно хорошо соотносится с картиной, наблюдаемой в сопоставительном материале, в частности в керне

LV77-3. Для перспективных кернов выполнены стратиграфическая привязка к датированному материалу и стратиграфическое расчленение (рис. 5). В перспективных кернах отчетливо прослеживаются интервалы (периоды от среднего голоцена до настоящего времени), выделенные ранее в результате комплексного исследования и связанные главным образом с интенсивностью поступления в Чукотское море теплых тихоокеанских вод через Берингов пролив [9]. На рис. 1 видно, что неперспективные керны локализируются по бортам Центрально-Чукотский котловины. Вообще, к малоперспективным и неперспективным отнесены керны длиной менее 2 м с нормальным распределением значений изученных характеристик, а также керны длиной более 2 м с интервалами резко контрастного распределения, вследствие чего по сумме критериев нормальности общее распределение нельзя уверенно называть нормальным. Резко контрастное распределение может быть связано в том числе с экзарацией — механическим воздействием на морское дно льдов/айсбергов с эрозией и перемешиванием осадков. В Чукотском море предельная глубина возможной экзарации составляет 30–50 м [16]. В Восточно-Сибирском море ледяные торосистые образования и айсберги воздействуют на дно с максимальной для российского арктического шельфа интенсивностью, предельная глубина возможной экзарации — 40–60 м [16]. Предлагаемый нами подход к обработке больших массивов однотипных кернов арктических голоценовых осадков показал свою эффективность при выявлении в Восточно-Сибирском море кернов осадков со следами экзарации [17]. В зависимости от интенсивности механического воздействия, испытанного осадками, керны оказались малопригодны либо вообще не пригодны для стратиграфического расчленения, корреляции, палеорекоonstrukций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из большого количества однотипного осадочного материала, отбираемого на арктическом шельфе в каждой геологической экспедиции (десятки кернов голоценовых осадков), сложно объективно выделить тот, который перспективен для детальных исследований, стратиграфического расчленения, корреляции, палеорекоonstrukций. На многочисленных примерах показан эффективный подход к обработке арктических голоценовых осадков, позволяющий выделить перспективный материал уже на борту судна. Выделение производится по минимальному набору характеристик (цветовые координаты CIE L*, CIE a*, CIE b*, магнитная восприимчивость MB, геохимические отношения Fe/Rb, Mn/Rb, Ti/Rb), определяемых в ходе экспресс-анализа кернов

осадков (литологическое описание, колориметрическое и рентгенофлуоресцентное сканирование по оригинальным методикам, анализ MB), и по результатам сопоставления этих кернов с датированными и в целом подробно изученными кернами региона. Наибольшую информативность продемонстрировали цветовая координата CIE b*, MB и отношение Fe/Rb.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (грант № 21-17-00081). Экспедиционные работы поддержаны Минобрнауки России (тема № 121021700342-9), the National Natural Science Foundation of China (гранты № 42176245, № 42130412), the Fund of Laoshan Laboratory (грант № LSKJ202204200).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rothwell R.G., Rack F.R. New techniques in sediment core analysis: an introduction // *New Techniques in Sediment Core Analysis*, Rothwell R.G. (ed.), Geological Society, London, Special Publications, 2006. V. 267. P. 1–29.
2. Vonk J.E., Sánchez-García L., van Dongen B.E., Alling V., Kosmach D., Charkin A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Shakhova N., Roos P., Eglinton T.I., Andersson A., Gustafsson Ö. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia // *Nature*. 2012. V. 489. P. 137–140.
3. Feng D., Gleason C.J., Lin P., Yang X., Pan M., Ishitsuka Y. Recent changes to Arctic river discharge // *Nature Communications*. 2021. V. 12. № 6917.
4. Куликов Н.Н., Лапина Н.Н., Семен в Ю.П., Белов Н.А., Спиридонов М.А. Стратификация и скорости накопления донных отложений Арктических морей СССР // *Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое*. Л.: Гидрометеиздат, 1970. С. 34–41.
5. Яшин Д.С. Голоценовый седиментогенез арктических морей России // *Геологогеофизические характеристики литосферы Арктического региона*. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. Вып. 3. С. 57–67.
6. Keigwin L.D., Donnelly J.P., Cook M.S., Driscoll N.W., Brigham-Grette J. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea // *Geology*. 2006. V. 34. № 10. P. 861–864.
7. Hill J.C., Driscoll N.W. Paleodrainage on the Chukchi shelf reveals sea level history and meltwater discharge // *Marine Geology*. 2008. V. 254. № 3–4. P. 129–151.
8. Гусев Е.А., Аникина Н.Ю., Деревянко Л.Г., Ключевкина Т.С., Поляк Л.В., Полякова Е.И., Рекант П.В., Степанова А.Ю. Развитие природной среды южной части Чукотского моря в голоцене // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 4. С. 505–517.
9. Astakhov A.S., Shi Suefa, Darin A.V., Kalugin I.A., Hu Limin, Tsou 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 // *Marine Geology*. 2020. V. 427. № 106220.
10. Павлидис Ю.А. Обстановка осадконакопления в Чукотском море и фациально-седиментационные зоны его шельфа // Проблемы геоморфологии, литологии и литодинамики шельфа. М.: Наука, 1982. С. 47–76.
 11. Колесник А.Н., Босин А.А. Мобильное устройство для определения цветовых характеристик горных пород. Патент на изобретение RU 2741268 C1, 22.01.2021. Заявка № 2020115938 от 20.04.2020.
 12. Гуленко Т.А., Волков В.Г., Лопатников Е.А. Сканирующее устройство экспресс анализа кернов. Патент на полезную модель RU 197194 U1, 10.04.2020. Заявка № 2020101560 от 15.01.2020.
 13. Astakhov A.S., Bosin A.A., Liu Y.G., Darin A.V., Kalugin I.A., Artemova A.V., Babich V.V., Melgunov M.S., Vasilenko Yu.P., Vologina E.G. Reconstruction of ice conditions in the northern Chukchi Sea during recent centuries: Geochemical proxy compared with observed data // *Quaternary International*. 2019. V. 522. P. 23–37.
 14. Кочемасов Ю.В. Об использовании метода измерения магнитной восприимчивости морских осадков для восстановления условий их формирования на шельфе // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М.: Наука, 1979. С. 196–200.
 15. Кошелева В.А., Яшин Д.В. Донные осадки Арктических морей России. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. 286 с.
 16. Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 173 с.
 17. Алаторцев А.В., Колесник А.Н., Шу С., Ху Л., Карнаух В.Н., Астахов А.С. Литологические и геохимические признаки ледовой экзарации в голоценовых осадках Восточно-Сибирского моря // *Геология и геофизика*. 2023. <https://doi.org/10.15372/GiG2023103>

EFFICIENT APPROACH TO THE SEQUENCE STRATIGRAPHIC STUDY OF MONOTONOUS HOLOCENE SEDIMENTS FROM THE ARCTIC SHELF

A. N. Kolesnik^{a,*}, S. A. Selyutin^a, O. N. Kolesnik^a, A. A. Bosin^a, A. S. Astakhov^a, E. G. Vologina^b, E. N. Sukhovveev^a, and I. I. Bazhenov^a

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

^b*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

^{*}*E-mail: kolesnik_a@poi.dvo.ru*

Presented by Academician of the RAS G.I. Dolgikh May 15, 2023

The article faces an approach in which already at sea, based on the results of an express analysis of visually similar cores of Arctic Holocene sediments and their comparison with dated and generally studied in detail cores of region's sediments, it is possible to determine material that is promising for sequence stratigraphic correlation and paleoreconstructions. Parameters analyzed include lithological, colorimetric (CIE L*, CIE a*, CIE b*), geophysical (magnetic susceptibility – MS), and geochemical (Fe/Rb, Mn/Rb, Ti/Rb). The most informative characteristics are the CIE b* color coordinate, MS, and the Fe/Rb ratio.

Keywords: sediment cores, lithology, colorimetry, magnetic susceptibility, geochemistry, normal distribution, Arctic shelf, stratigraphy, Holocene