ГЕОХИМИЯ, 2022, том 67, № 4, с. 350–358

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕДИМЕНТАЦИИ В ПЕЛАГИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ И НА ПОДВОДНЫХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИНАХ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

© 2022 г. М. А. Левитан[a], *, Т. А. Антонова[a], Т. Н. Гельви[a], Л. Г. Домарацкая[a], А. В. Кольцова[a]

[a] *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, ул. Косыгина 19, Москва, 119991 Россия*

**e-mail: m-levitan@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.12.2020 г.
После доработки 16.01.2021 г.
Принята к публикации 21.03.2021 г.

Произведен сравнительный анализ количественных параметров плейстоценовых отложений пелагической области Индийского океана и подводных частей его континентальных окраин в пяти ключевых районах. Проанализированы площади распространения, мощности и объемы основных литологических типов и групп. Рассчитаны массы сухого осадочного вещества и скорости их накопления. В неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом потоки (абсолютные массы) всех компонентов аккумулировавшегося на дне осадочного материала выросли и в пелагической области, и на континентальных окраинах. Для фациальной структуры пелагической области биогенная седиментация имела большее значение, чем в среднем на континентальных окраинах.

Ключевые слова: Индийский океан, неоплейстоцен, эоплейстоцен, плейстоцен, донные осадки, пелагиаль, континентальные окраины

DOI: 10.31857/S0016752522030037

Настоящая статья продолжает серию работ о сравнительном анализе количественных параметров седиментации плейстоценовых отложений Мирового океана в пелагиали и на подводных частях континентальных окраин, начатую в статье М.А. Левитана (2020). Эта тематика затрагивает фундаментальную проблему осадочной (в том числе и геохимической) дифференциации в океане и непосредственно связана с циркумконтинентальной зональностью океанического осадконакопления. В данной работе эти проблемы будут рассмотрены на примере Индийского океана.

Описание плейстоценовых осадков Индийского океана в его пелагической области было опубликовано в работе (Левитан и др., 2014). Затем авторский коллектив исследовал отложения плейстоцена в 5 ключевых районах подводных континентальных окраин этого океанического бассейна (рис. 1), для каждого из которых были рассмотрены проблемы современной седиментации, составлены литолого-фациальные карты неоплейстоценовых и эоплейстоценовых отложений (с изопахитами). Все карты обсчитаны с помощью объемного метода А.Б. Ронова (1949) и в итоге составлены таблицы таких количественных параметров как площади, объемы, массы сухого осадочного вещества и массы вещества в единицу времени (скорости накопления). В данной статье основное внимание будет уделено сравнительному анализу полученных количественных параметров и тем выводам, которые следуют из этого анализа.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОСАДКОВ

Фациальная структура

По фациальной структуре плейстоценовых отложений Индийский океан состоит из двух мегафациальных областей: пелагической и подводных континентальных окраин. Пелагическая мегафациальная область, в свою очередь, состоит из гемипелагической, миопелагической и эвпелагической литолого-фациальных зон, в каждой из которых присутствуют еще и азональные подводные поднятия (хребты, возвышенности, плато) различного генезиса. Как и в современную эпоху, распределение плейстоценовых осадков подчинялось сочетанию основных видов зональности: циркумконтинентальной, широтной (климатической), вертикальной и тектонической (Лисицын, 1978; Левитан и др., 2014).

В состав мегафациальной области подводных континентальных окраин Индийского океана входят окраины двух основных типов: пассивные и активные островодужные. Все изученные клю-

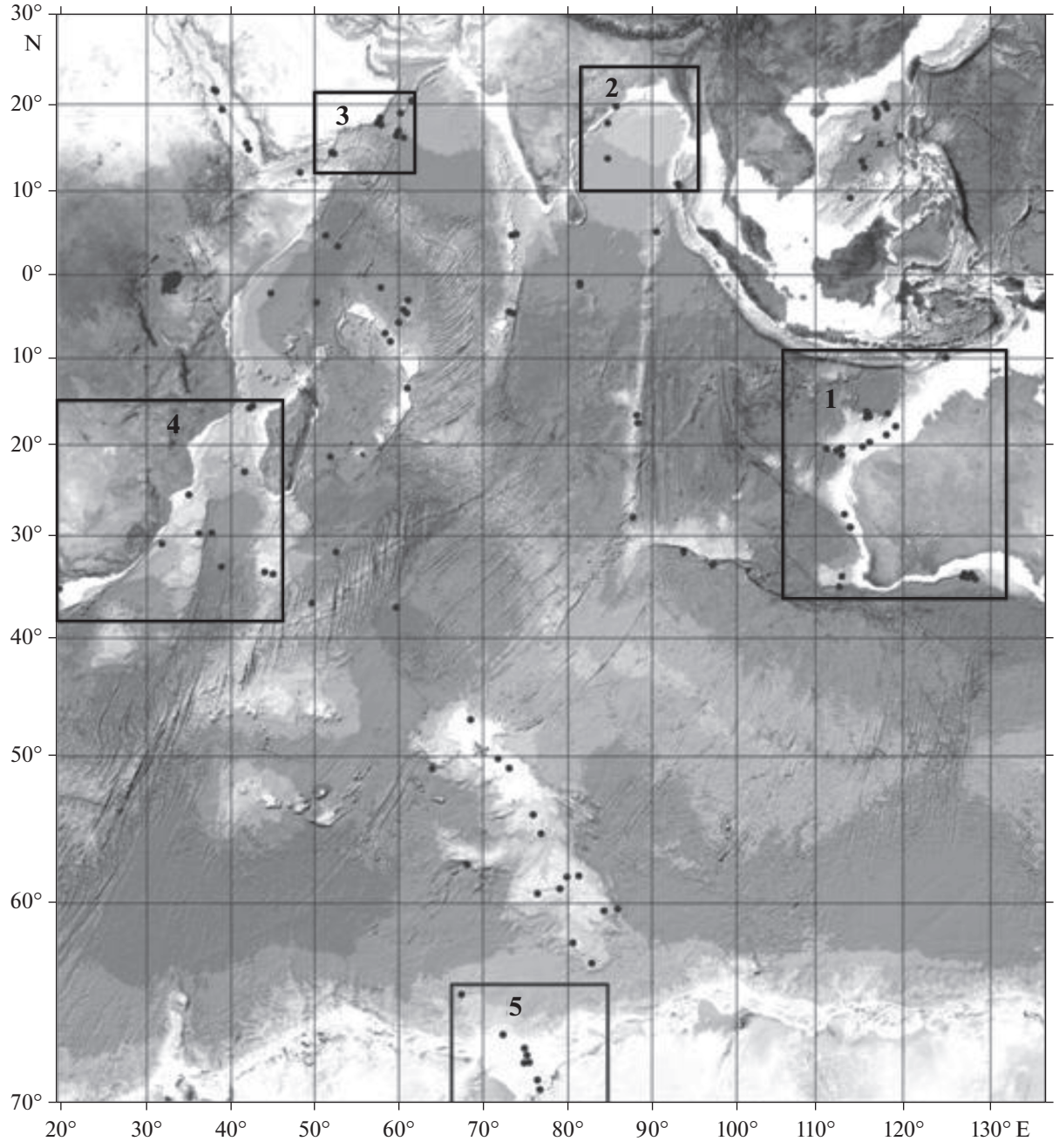

Рис. 1. Расположение скважин глубоководного бурения (черные точки) в Индийском океане. Прямоугольники с номерами 1–5 показывают изученные ключевые районы подводных континентальных окраин.

чевые районы принадлежат к пассивным окраинам, так как по Зондской островодужной окраине слишком мало буровых данных.

На фациальную структуру плейстоценовых осадков континентальных окраин помимо геодинамических факторов большое влияние оказывают климатические особенности, а также, разумеется, рельеф дна, структура циркуляции, первичная продукция и т.д. Особенно заметна роль климата. Так, на юге океана значительную роль в составе плейстоценового осадочного чехла играют марино-гляциальные отложения и кремнистые (существенно диатомовые) осадки, например, в заливе Прюдс, а карбонатные отложения практически отсутствуют. Планктоногенные карбонатные илы и бентогенные постройки, напротив, развиты в экваториально-тропическом поясе в северной части океана, например, на континентальных окраинах Австралии и Омана. Наиболее интенсивная терригенная седиментация в плейсто-

Таблица 1. Площади (S, тыс. км^2), мощности (H, м) и объемы (V, тыс. км^3) плейстоценовых осадков Индийского океана

Стратиграфические подразделения	Параметры	Пелагическая область	Континентальные окраины Австралии	Бенгальский залив	Окраина Аравийского полуострова	Окраина Юго-Восточной Африки	Залив Прюдс	Все подводные континентальные окраины
Неоплейстоцен	S	58254.3	1313.1	1067.3	375.8	312.2	116.9	3185.3
	H	19	65	314	46	66	21	145
	V	1126.7	85.2	334.7	17.6	20.7	2.4	460.6
Эоплейстоцен	S	58888.0	1550.8	1076.7	368.4	311.3	117.6	3425
	H	24	43	87	39	66	68	59
	V	1389.5	66.8	93.6	142	20.6	8.0	2032
Плейстоцен	S	58516.3	1432.0	1068.1	375.8	312.2	116.9	3305.2
	H	43	108	401	85	132	89	204
	V	2516.2	152.0	428.3	31.8	413	10.4	663.8

цене (из числа изученных окраин) была приурочена к Бенгальскому заливу, а на окраине Юго-Восточной Африки она выражена гораздо слабее.

Площади, мощности и объемы плейстоценовых осадков

В табл. 1 показаны сводные результаты измерения площадей, мощностей и объемов как по пелагической области Индийского океана, так и по его континентальным окраинам. Если исходить из данных Википедии (www.wikipedia.ru), то общая площадь Индийского океана составляет 76174 тыс. км^2. Из них на активные окраины (моря Андаманское и Тиморское), не рассматриваемые в данной статье, приходятся, соответственно, 605 и 432 тыс. км^2. Следовательно, сумма площадей пелагической области и пассивных континентальных окраин равна 75137 тыс. км^2. Как следует из табл. 1, площадь, занятая плейстоценовыми осадками пелагиали, составляет 58516 тыс. км^2. Отсюда следует, что общая площадь подводных частей пассивных континентальных окраин равна 16621 тыс. км^2.

В качестве ключевых участков подводных частей пассивных континентальных окраин нами была рассмотрена акватория общей площадью 3185.3 тыс. км^2 (табл. 1), что составляет 19.2% от суммарной площади этих окраин в Индийском океане. Таким образом, изученная примерно пятая часть суммарной площади сильно ограничивает ценность проведенных нами построений и расчетов с точки зрения выхода на средневзвешенный литологический состав неоплейстоценовых и эоплейстоценовых отложений Индийского океана. Однако с точки зрения изучения трендов седиментации в плейстоцене и характеристики фациальной структуры чехла плейстоценовых отложений полученные данные, естественно, представляют большой интерес.

Отношение площадей пелагических и изученных окраинно-континентальных осадков в неоплейстоцене составило 18.37. Это же соотношение для эоплейстоцена равно 17.19, и для плейстоцена в целом – 17.71.

Суммарные объемы неоплейстоценовых отложений на континентальных окраинах (табл. 1) равны 480.6 тыс. км^3, эоплейстоценовых – 211.0 тыс. км^3, а плейстоценовых в сумме – 691.6 тыс. км^3. Отношения зафиксированных в табл. 1 объемов в пелагической области и на континентальных окраинах, соответственно, равны 2.34, 6.59 и 3.64. В пелагической области объемы неоплейстоценовых отложений составляют 0.81 от объемов эоплейстоценовых осадков, а на континентальных окраинах величина такого отношения равна 2.28.

Показанные в табл. 1 средние мощности (частные от деления объемов на площади) свидетельствуют о том, что рассматриваемая величина в пелагической области равна для неоплейстоцена 19 м, а для эоплейстоцена – 24 м. Соответственно, суммарная мощность для плейстоцена равна 43 м. В ключевых районах исследованных континентальных окраин средние мощности равны, соответственно, 134, 58 и 192 м, а их колебания составляют, соответственно, от 21 до 314 м, от 39 до 87 м, от 85 до 401 м.

Таким образом, в среднем площади развития плейстоценовых осадков в пелагиали Индийского океана превышают такие же площади на изученных континентальных окраинах в 16.25 раза. Соотношение объемов для плейстоцена равно 3.64, а соотношение средних мощностей составляет 0.22. Следовательно, если исходить из округ-

Таблица 2. Массы сухого осадочного вещества (M, 10^{18} г) и массы вещества в единицу времени (I, 10^{18} г/млн лет) осадков плейстоцена в Индийском океане

Стратиграфические подразделения	Параметры	Пелагическая область	Континентальные окраины Австралии	Бенгальский залив	Континентальная окраина Аравии	Континентальная окраина ЮВ Африки	Залив Прюдс	Все континентальные окраины
Неоплейстоцен	M	752.4	48.9	2983	14.0	16.3	2.9	380.4
	I	952.4	61.9	377.6	17.7	20.6	3.6	481.5
Эоплейстоцен	M	871.1	55.2	75.1	11.8	19.5	11.5	173.1
	I	871.1	55.2	75.1	11.8	19.5	11.5	173.1
Плейстоцен	M	1623.5	104.1	373.4	25.8	35.8	14.4	553.5
	I	907.0	58.2	208.6	14.4	20.0	8.0	3092

ленных значений, то в среднем мощность осадков плейстоцена на континентальных окраинах в 5 раз выше, чем в пелагиальной части ложа Индийского океана.

Кроме того, в табл. 1 обращает на себя внимание, что в большинстве изученных районов подводных континентальных окраин Индийского океана (за исключением залива Прюдс) объемы и мощности неоплейстоценовых отложений выше, чем в эоплейстоцене. Учитывая, что объемы и мощности приводятся для натуральных осадков, а для будущих расчетов средневзвешенного литологического состава требуются данные по массам сухого осадочного вещества, то более значимыми в этом плане являются именно такие результаты, которые представлены в следующем параграфе.

Массы сухого осадочного вещества и массы вещества в единицу времени

Приведенные в табл. 1 данные об объемах натуральных осадков невозможно пересчитать в массы сухих осадков, т.к. физические свойства отложений различного состава заметно отличаются друг от друга. Поэтому для получения представленных в табл. 2 результатов использованы ранее полученные данные по массам конкретных литологических разновидностей (литотипов) для изученных районов Индийского океана.

Таким образом, основные данные табл. 2 выглядят следующим образом: массы сухих осадков для пелагической области Индийского океана для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена, соответственно, равны 752.4, 871.1 и 1623.5 × 10^{18} г. Суммарные величины для всех изученных континентальных окраин, соответственно, равны 380.4, 173.1 и 553.5 × 10^{18} г. Итак, получается, что суммарно на подводных континентальных окраинах Индийского океана и в неоплейстоцене, и в эоплейстоцене, и в плейстоцене в целом накопилось заметно меньше сухого осадочного вещества, чем в пелагической области. Соответствующие отношения масс равны 0.51, 0.20 и 0.34. Напомним, что это – без учета неисследованных континентальных окраин. Если изучить соотношения масс осадков между нео- и эоплейстоценом, то выяснится, что в пелагической области Индийского океана, на окраине ЮВ Африки и в заливе Прюдс массы сухого осадочного вещества в неоплейстоцене были ниже, чем в эоплейстоцене. На остальных континентальных окраинах, напротив, эти значения были выше.

Для каждого рассматриваемого региона величины масс сухих осадков, накопленных в единицу времени (скорости накопления), имеют еще большее значение, чем просто массы (табл. 2), поскольку продолжительность эоплейстоцена заметно выше, чем неоплейстоцена. Выяснилось, что во всех изученных районах континентальных окраин (кроме залива Прюдс) и в пелагической области скорости накопления осадков в неоплейстоцене были выше, чем в эоплейстоцене.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют рассчитать абсолютные массы осадочного материала (MAR, раздельно для пелагической области и подводных континентальных окраин). Результаты расчета выглядят следующим образом (для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена, соответственно): для пелагической области – 1.634, 1.479 и 1.550 г/см^2 тыс. лет; для континентальных окраин – 15.116, 5.054 и 9.355 г/см^2 тыс. лет. Таким образом, отношения абсолютных масс осадочного материала между континентальными окраинами и пелагическими областями для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена равны, соответственно, 9.250, 3.417 и 6.035. Отношения абсолютных масс осадков между нео- и эоплейстоценовыми величинами для континентальных окраин равно 2.991, а для пелагической области – 1.105.

Литологический состав плейстоценовых отложений подводных континентальных окраин в

Таблица 3. Массы сухого осадочного вещества (M, 10^{18} г) основных групп плейстоценовых осадков в Индийском океане

Стратиграфические подразделения	Осадки	Пелагическая область	Континентальные окраины Австралии	Бенгальский залив	Континентальная окраина Аравии	Континентальная окраина ЮВ Африки	Залив Прюдс	Все континентальные окраины
Неоплейстоцен	Тер.	560.6	0	302.3	1.9	10.2	1.8	316.2
	Карб.	286.1	47.7	6.5	12.1	6.1	0	72.4
	Кр.	107.3	1.6	0	0	0	1.0	2.6
Эоплейстоцен	Тер.	612.9	0	72.6	2.3	12.1	9.5	96.5
	Карб.	217.4	54.8	2.4	9.7	7.4	0	74.0
	Кр.	83.5	0	0	0	0	2.0	2.0
Плейстоцен	Тер.	1173.5	0	374.9	4.2	22.3	11.3	412.7
	Карб.	503.5	102.5	8.9	21.8	13.5	0	146.4
	Кр.	190.8	1.6	0	0	0	3.0	4.6

Индийском океане отличается от такового в пелагической области. Поэтому для интерпретации вышеприведенных данных необходима информация о литологии изученных отложений.

Массы сухого осадочного вещества основных групп осадков и осадкообразующих компонентов

В терригенную группу осадков включены доминирующие терригенные отложения, мио- и эвпелагические глины. К карбонатным осадкам отнесены не только собственно карбонатные планктоногенные илы, кораллово-водорослевые образования, ракушечники и мшанковые биогермы, но также и глинисто-карбонатные илы. В группу кремнистых осадков попали диатомовые и диатомово-радиоляриевые илы, а также диатомовые глины и радиоляриево-кокколитовые осадки.

Результаты расчетов масс сухого осадочного вещества основных групп осадков приведены в табл. 3. Ее изучение показывает, что литологический состав в пелагической области и суммарно на континентальных окраинах заметно отличается. Если обобщить полученные результаты, то получится, что в пелагической области в неоплейстоцене, эоплейстоцене и плейстоцене в целом соотношение терригенных, карбонатных и кремнистых осадков составляло 58 : 30 : 12, 67 : 24 : 9 и 63 : 27 : 10, соответственно. Для всей изученной области подводных континентальных окраин рассматриваемое соотношение составляло 81 : 18 : 1, 56 : 43 : 1 и 73 : 26 : 1, соответственно. Таким образом, в целом в обеих мегафациальных областях преобладают терригенные осадки, на втором месте находятся карбонаты и на третьем – кремнистые отложения. Вклад последних очень мал.

Вышеприведенные соотношения основных групп донных осадков свидетельствуют о том, что в пелагической области в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом выросло относительное значение карбонатов и поэтому (?) уменьшилось значение терригенных осадков. В области континентальных окраин сильно увеличилось относительное содержание терригенных отложений и уменьшилось – карбонатных.

В то же время внимательное изучение табл. 3 свидетельствует о серьезных различиях между ключевыми районами континентальных окраин. Например, в австралийских морях и на окраине Аравийского полуострова явно доминируют медленно накапливавшиеся карбонатные отложения; на окраине Антарктиды повышена роль кремнистых отложений; в Бенгальском заливе абсолютно преобладают терригенные осадки. Учет перечисленных выше неисследованных нами районов континентальных окраин может изменить приведенные соотношения основных групп осадков (Безруков, Лисицын, 1974). Так, на континентальной окраине Западной Индии (собственные данные М.А. Левитана) и Пакистана примерно одинаков вклад терригенного и карбонатного осадочного материала; в Персидском заливе доминируют карбонаты, на окраине СВ Африки большее значение имеют терригенные отложения, в целом в индоокеанском секторе Южного океана на континентальной окраине Антарктиды соотношения основных групп осадков, вероятно, близки к окраине Земли Уилкса (Левитан и др., 2018). Тем не менее, представляется, что основные литологические соотношения нами обозначены правильно.

С точки зрения генетического состава осадков и приближения к познанию их химического со-

Таблица 4. Массы (M, 10^{18} г) основных осадкообразующих компонентов плейстоценовых отложений в мегафациальных областях Индийского океана

Стратиграфические подразделения	Компоненты	Пелагическая область	Все континентальные окраины	$\frac{\text{М конт. окр.}}{\text{М пелаг. обл.}}$
Неоплейстоцен	Терригенное вещество	646.4	362.4	0.6
	$CaCO_3$	243.2	50.1	0.2
	Биогенный опал	64.4	1.0	0.02
Эоплейстоцен	Терригенное вещество	678.7	112.4	0.2
	$CaCO_3$	184.8	62.9	0.3
	Биогенный опал	50.1	0.6	0.01
Плейстоцен	Терригенное вещество	1325.1	474.8	0.4
	$CaCO_3$	428.0	113.0	0.3
	Биогенный опал	114.5	1.6	0.01

става более корректным является оперирование не массами основных групп осадков, а массами основных осадкообразующих компонентов: терригенного вещества, $CaCO_3$ и биогенного опала. Полученные результаты показаны в табл. 4. Из анализа таблицы следует, что для неоплейстоцена, эоплейстоцена и плейстоцена в целом отношения масс на континентальных окраинах к массам в пелагической области равны, для терригенного вещества, $CaCO_3$ и биогенного опала, соответственно: 0.6, 0.2, 0.02; 0.2, 0.3, 0.01; 0.4, 0.3 и 0.01. Таким образом, в плейстоцене все время массы осадкообразующих компонентов были выше в пелагиали, чем на континентальных окраинах.

Абсолютные массы групп осадков и осадкообразующих компонентов

Результаты расчета абсолютных масс основных групп осадков (раздельно для пелагической области и подводных континентальных окраин) для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена показаны в табл. 5.

При этом MAR терригенных отложений в среднем для плейстоцена на континентальных окраинах были больше, чем в пелагической области, в 6.0 раза, а биогенных компонентов – в 5.2 раза больше для карбонатных осадков и в 0.4 раза меньше для кремнистых осадков. Отсюда следует, что для фациальной структуры пелагической области биогенная седиментация имела бóльшее значение, чем в среднем на континентальных окраинах.

Существует еще одно важное следствие анализа табл. 4. Если мы разделим MAR неоплейстоценовых групп осадков на MAR эоплейстоценовых осадков, то в пелагической области для терригенных, карбонатных и кремнистых отложений получим, соответственно, значения 1.17, 1.69 и 1.64. Для континентальных окраин в сумме этот ряд будет выглядеть следующим образом: 14.55, 1.51 и 1.70. Таким образом, в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом потоки аккумулировавшегося на дне осадочного материала сильно изменились: они выросли и в пелагиали, и на континентальных окраинах как для терригенных осадков, так и для биогенных отложений.

Однако наиболее корректными с точки зрения сравнительного анализа являются данные по абсолютным массам основных осадкообразующих компонентов (табл. 5). В итоге анализа этих данных подтвердились ранее сделанные выводы о том, что в обеих мегафациальных областях в течение всего плейстоцена сохранялась сходная структура седиментации с явным преобладанием потоков накапливавшегося на дне терригенного вещества, заметно меньшими потоками $CaCO_3$ и незначительными – биогенного опала. При этом в среднем для плейстоцена MAR терригенного вещества на континентальных окраинах были больше, чем в пелагической области, в 6.0 раз, $CaCO_3$ – в 4.5 раза, а биогенного опала – примерно в 3 раза меньше. Для фациальной структуры пелагической области биогенная седиментация имела большее значение, чем в среднем на континентальных окраинах.

Рассмотрим другое следствие анализа табл. 5. Если мы разделим MAR неоплейстоценовых основных осадкообразующих компонентов на MAR эоплейстоценовых, то в пелагической области для терригенного вещества, $CaCO_3$ и биогенного опала получим, соответственно, значения 1.22, 1.68 и 1.65. Для мегафациальной области континентальных окраин этот ряд будет выглядеть следующим образом: 3.30, 1.51 и 2.19. Таким образом, в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоце-

Таблица 5. Абсолютные массы (MAR, г/см^2 тыс. лет) групп осадков и основных осадкообразующих компонентов плейстоценовых отложений в мегафациальных областях Индийского океана

Стратиграфические подразделения	Осадки, компоненты	Пелагическая область	Все континентальные окраины	MAR конт. окр. / MAR пелаг. обл.
Неоплейстоцен	Терригенные осадки	1.218	11.266	9.250
	Карбонатные осадки	0.622	3.232	5.201
	Кремнистые осадки	0.233	0.092	0.395
	Терригенное вещество	1.405	13.00	9.250
	$CaCO_3$	0.529	2.588	4.907
	Биогенный опал	0.140	0.035	0.250
Эоплейстоцен	Терригенные осадки	1.041	3.557	3.417
	Карбонатные осадки	0.369	2.132	5.780
	Кремнистые осадки	0.142	0.054	0.380
	Терригенное вещество	1.153	3.940	3.417
	$CaCO_3$	0.314	1.719	5.478
	Биогенный опал	0.085	0.016	0.118
Плейстоцен	Терригенные осадки	1.120	6.759	6.035
	Карбонатные осадки	0.484	2.625	5.424
	Кремнистые осадки	0.182	0.071	0.390
	Терригенное вещество	1.265	7.634	6.035
	$CaCO_3$	0.466	2.109	4.532
	Биогенный опал	0.109	0.025	0.229

ном потоки всех компонентов аккумулировавшегося на дне осадочного материала выросли и в пелагической области, и на континентальных окраинах. При этом наиболее значительный рост зафиксирован для потоков терригенного вещества на континентальных окраинах (особенно за счет Бенгальского залива).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В главе рассмотрены данные о покрытых плейстоценовыми осадками областях дна Индийского океана, составляющих 82.7% от общей площади пелагической области и подводных частей пассивных континентальных окраин. Если разделить среднюю мощность плейстоценовых отложений континентальных окраин на среднюю мощность одновозрастных осадков пелагической области (табл. 1), то получим значение 4.5. Отметим, что это близко к величине такого же отношения в Тихом океане (5.5) (Левитан, 2020).

Умножив среднюю мощность плейстоценовых отложений изученных ключевых районов континентальных окраин Индийского океана на общую площадь подводных частей пассивных окраин в океане, получаем оценочную величину объема натуральных осадков в данной мегафациальной области, равную 3191.2 тыс. км^3. В принципе это значение завышено из-за слишком высокого вклада неоплейстоценовых отложений Бенгальского залива. Тем не менее, частное от деления этой величины на объем пелагических осадков плейстоцена равно 1.27. Таким образом, скорее всего, объемы плейстоценовых отложений в пелагиали и на подводных частях пассивных континентальных окраин Индийского океана достаточно близки.

Для обеих мегафациальных областей характерна близкая фациальная структура с доминированием терригенных образований, существенно меньшей ролью карбонатных осадков и очень незначительной долей кремнистых отложений.

Представляется, что эта структура, в принципе, связана, главным образом, со структурой стока с континентов. Терригенное вещество в основном оседает на континентальных окраинах недалеко от районов его поставки. В Индийском океане наиболее мощные его депоцентры были развиты в дельтовых областях великих рек Азии (Инда и объединенной системы Ганга и Брахмапутры). Заметен также вклад р. Замбези в Восточной Африке.

Поступающие в океан растворенные вещества (включая питательные вещества типа фосфатов, нитратов, растворенной органики и т.д.), как правило, разносятся течениями и в значительной степени обезличиваются. Однако и в этом случае депоцентры находятся на подводных континентальных окраинах. В качестве примеров сошлемся не только на приведенные в статье таблицы, но и укажем на карбонатные толщи на окраинах Австралии и на мощнейшую (свыше 150 м) толщу голоценовых диатомовых илов на погруженном шельфе Земли Уилкса (Антарктида) (Escutia et al., 2011).

В росте накопления терригенного вещества в Индийском океане в плейстоцене ведущую роль сыграли неотектонические движения в Гималаях и, отчасти, в Восточно-Африканской рифтовой зоне (Трифонов, 1999). Небольшое значение имело усиление эоловой деятельности в районе Аравийского полуострова, особенно в периоды похолоданий (Punyu et al., 2014). Неотектоника приводила к усилению горного оледенения и влиянию муссонного климата. Все это способствовало росту поставки не только терригенного вещества, но и растворенных веществ, необходимых для биогенного осадкообразования. Здесь же необходимо отметить роль продолжавшегося в плейстоцене оледенения Антарктиды и глобальных гляциоэвстатических колебаний уровня Мирового океана на фоне тренда его углубления. Наконец, важную роль в накоплении биогенных (в частности, карбонатных) осадков в плейстоцене сыграло повышение первичной продукции, обусловленное усилением вертикальной циркуляции из-за роста термических градиентов в водной толще в течение плейстоцена (Punyu et al., 2014).

В истории кремненакопления в Индийском океане в плейстоцене интересно отметить две особенности: рост скорости накопления радиоляриево-диатомовых илов в тропической зоне и уменьшение этого роста для диатомовых илов южного пояса кремненакопления (и в пелагиали, и на континентальной окраине Антарктиды).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ получены данные о литологическом составе нео- и эоплейстоценовых осадков на площади, составляющей почти 83% от общей площади дна Индийского океана. Это дает основания применить в будущем метод расчета средневзвешенного литологического состава для неоплейстоценовых, эоплейстоценовых и плейстоценовых отложений в целом.

Нами выделены две мегафациальные области: пелагическая и подводных континентальных окраин. Сравнительный анализ материалов по обеим областям проведен по ряду количественных параметров. Средняя мощность плейстоценовых отложений в пелагиали равна 43 м, а на окраинах – 204 м (табл. 1). В наиболее общем виде на основе вышеприведенных данных можно утверждать, что в Индийском океане объем осадков пелагической области и на континентальных окраинах в плейстоцене почти одинаков.

Установлено, что во всех изученных районах континентальных окраин (кроме залива Прюдс) и в пелагической области скорости накопления осадков в неоплейстоцене были выше, чем в эоплейстоцене (табл. 2).

В целом в обеих мегафациальных областях преобладают терригенные осадки, на втором месте находятся карбонаты и на третьем – кремнистые отложения. При этом относительная роль карбонатов выше в пелагиали, а терригенных осадков – на континентальных окраинах. Относительная роль кремнистых осадков, вероятно, не изменялась.

В пелагической области в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом выросло относительное значение карбонатов и поэтому (?) уменьшилось значение терригенных осадков. В области континентальных окраин сильно увеличилось относительное содержание терригенных отложений и уменьшилось – карбонатных.

В течение плейстоцена и в пелагиали, и на континентальных окраинах произошло увеличение масс сухого терригенного вещества и биогенных компонентов, выраженных в 10^{18} г (см. табл. 4).

По данным об абсолютных массах групп осадков, выраженных в г/см^2 тыс. лет, для фациальной структуры пелагической области биогенная седиментация имела большее значение, чем в среднем на континентальных окраинах (табл. 5). В неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом потоки всех компонентов аккумулировавшегося на дне осадочного материала выросли и в пелагической области, и на континентальных окраинах. При этом наиболее значительный рост зафиксирован для потоков терригенного вещества на континентальных окраинах (особенно за счет Бенгальского залива).

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания № 0137-2019-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безруков П.Л., Лисицын А.П. (1974) *Карта поверхностного слоя донных осадков. В: Международный геолого-геофизический атлас Индийского океана (отв. ред. Г.Б. Удинцев).* М.: ГУГК СССР, с. 135-136.

Левитан М.А. (2020) Сравнительный анализ плейстоценовых отложений пелагической области и подводных континентальных окраин Тихого океана. *Геохимия.* **65**(1), 46-58.

Levitan M.A. (2020) Comparative analysis of Pleistocene sediments of pelagic area and submarine continental margins of the Pacific Ocean. *Geochem. Int.* **58**(1), 49-60.

Левитан М.А., Антонова Т.А., Гельви Т.Н. (2014) Фациальная структура и количественные параметры пелагической плейстоценовой седиментации в Индийском океане. *Геохимия*. (4), 350-360.

Levitan M.A., Antonova T.A., Gelvi T.N. (2014) Facies structure and quantitative parameters of Pleistocene pelagic sedimentation in the Indian Ocean. *Geochem. Int.* **52**(4), 316-324.

Левитан М.А., Гельви Т.Н., Домарацкая Л.Г. (2018). Фациальная структура и количественные параметры плейстоценовых отложений подводной континентальной окраины Земли Уилкса и моря Росса (Антарктида). *Вестник ИГ Коми НЦ УРО РАН*(10), 17-22.

Лисицын А.П. (1978) *Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия*. М.: Наука. 391 с.

Трифонов В.Г. (1999) Неотектоника Евразии. М.: Научный мир. 253 с.

Escutia C., Brinkhuis H., Dunbar R., Klaus A. (2010) Unveiling climate and ice sheet history from drilling in high-latitude margins: IODP Expedition 318. *Abstracts of IPY Meeting Oslo-2010.* № LM 9.2-1.3.

Pinyu V.R., Banakar V.K., Garg A. (2014). Equatorial Indian Ocean productivity during 33 kyr and possible linkage to Westerly Jet variability. *Mar. Geol.* **348**, 44-51.