ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ БЕРЕГОВЕДЕНИЯ

DOI [dx.doi.org/10.24866/7444-4825-7/43-54](https://doi.org/10.24866/7444-4825-7/43-54)

П.Ф. Бровко, В.А. Мануйлов

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

peter.brofuko@yandex.ru, mva385@mail.ru

О ЛИТОЛОГИИ И РЕЛЬЕФЕ ПОДВОДНЫХ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ ОСТРОВОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

Аннотация. На островах разного генезиса – терригенного, биогенного, терригенно-биогенного западной части Индийского океана проведены исследования литологии и геоморфологии подводных береговых склонов. В работе приводится информация о некоторых чертах структуры аккумулятивного чехла, распределении и фракционном составе рыхлых отложений на различных морфологических элементах островов разного типа.

Ключевые слова: острова, коралловые рифы, подводный береговой склон, донные осадки, гранулометрический состав, медианный диаметр, коэффициент сортировки.

P.F. Brovko, V.A. Manuylov

Far Eastern Federal University, Vladivostok

peter.brofuko@yandex.ru, mva385@mail.ru

ABOUT LITHOLOGY AND RELIEF OF UNDERWATER COASTAL SLOPES OF THE ISLANDS OF THE WESTERN PART OF THE INDIAN OCEAN

Abstract. Lithology and geomorphology of underwater coastal slopes were studied on the islands of different genesis such as terrigenous, biogenic, terrigenous-biogenic in the Western Indian Ocean. The work provides information on some features of the structure of the accumulative cover, distribution and fractional composition of loose sediments on various morphological elements of the islands of different types.

Key words: islands, coral reefs, underwater coastal slope, bottom sediments, particle size distribution, median diameter, sorting coefficient.

В тропической и экваториальной зонах западной части Индийского океана расположены острова материкового происхождения и острова, образованные биогенным материалом (в основном кораллами). Проводились исследования на островах разного типа – острове Сокотра (терригенный), Сейшельских островах – о. Раунд-Айлет (терригенно-биогенный), о. Коэтиви (биогенный), островах Каргадос-Карахос – о. Коко, о. Сайрен (биогенные) (рис. 1). Неоднородность генезиса, истории развития, природных условий предопределили разницу в морфологии, литологии и динамике береговой зоны островов.

Остров Сокотра

Остров имеет материковое происхождение. Его шельф ассиметричен и занимает большие площади с южной стороны (10-25 км от берега). С севера ширина шельфа не превышает 3-9 км. Выделены два береговых района, соответствующих генетическим типам берега: 1) абразионно-аккумулятивный бухтовый на западном, северном и восточном побережье, 2) абразионно-аккумулятивный выровненный на южной стороне острова [1].

Рис. 1. Обзорная схема района исследований

В бухте Губбет-Каллансия, расположенной в северо-западной части острова, выделяются две террасы. Первая – мелководная, ее за-

нимает сама бухта, ограничена уступом, бровка которого лежит на глубине 10-12 м. Вторая терраса, за пределами бухты, лежит на глубинах 25-50 м и в 3-4 км от берега и круто переходит в материковый склон. Прибрежная подводная терраса абразионного происхождения. Она выработана в слабосцементированных палеоген-неогеновых породах. Об активной абразии берега свидетельствуют волноприбойные ниши.

Большая часть подводного склона – это мелкобугристая коренная поверхность, имеющая небольшие уклоны (0,005-0,006), на которой встречаются валуны, известковые и мягкие кораллы (рис. 2, А.). Кораллы не имеют сплошного покрова и не образуют самостоятельного геоморфологического тела – рифа, что связано с неблагоприятными экологическими условиями для массового роста кораллов [1]. На отдельных участках отмечаются слабовыраженные западины площадью 100-150 м², заполненные маломощным рыхлым материалом с рифелями, высотой 5-10 см. В прибрежной части профиля в этих линзах доминируют средние пески ($Md = 0,28-0,3$ мм). На глубинах 6-7 м преобладают осадки более мелких фракций (табл.1). Благодаря активной волновой переработке осадки хорошо сортированы ($S_0 = 1,4-1,5$).

Сейшельские острова

Сейшельские острова неоднородны по генезису, истории развития, природным условиям и подразделяются на два основных типа [5]. К первому относятся высокие острова-выступы гранитного батолита, залегающего в основании Сейшельской банки. Второй тип представляют различные морфологические группы коралловых островов. К первой группе принадлежит небольшой гранитный остров Раунд-Айлет.

Остров Раунд-Айлет расположен к юго-востоку от о. Праслен и соединяется с ним подводной аккумулятивной формой рельефа – томболо. С юга подводный склон острова имеет крутой уклон (0,1) (рис. 2, Б). Береговые абразионно-денудационные процессы привели к образованию в приурезовой зоне аккумулятивной глыбово-валунной осыпи. Подводная поверхность глыб, достигающих размера 10 м, частично покрыта корковыми и ветвистыми формами кораллов.

У подножья валунно-глыбовой осыпи сформировано аккумулятивное поле из слабосцементированных обломков кораллов, выносимых с мелководья.

В диапазоне глубин 10-18 м подводный склон представляет собой слабопологую выровненную поверхность, сложенную крупнообломочным материалом. Среди валунов и крупных коралловых и ракушечных обломков встречаются линзы более мелкого детрита размера гальки и гравия. Так, например, в пробе 16, взятой с этого участка преобладают частицы с медианным диаметром 2,8 мм хорошей сортированности – $S_0 = 1,7$ (см. табл.).

Рис. 2. Литолого-геоморфологический профили и гистограммы фракционного состава осадков подводных склонов островов

А – о. Сокотра, Б – о. Раунд-Айлет, В – о. Коэтиви (вост. склон), Г – о. Коэтиви (зап. склон), Д – о. Коко, Е – о. Сайрен. 1) коренные породы, 2) сцементированная коралловая плита, 3) глыбово-валунные обломки, 4) крупные сцементированные коралловые обломки, 5) несцементированные обломки кораллов, 6) гравий и галька, 7) пески. Md – медианный диаметр донных осадков (мм), S_0 – коэффициент сортировки донных осадков

С увеличением глубины деструкция осадков под действием волнения уменьшается. Поверхность дна сложена отдельными и сцементированными обломками кораллов. В 200 м от берега расположен уступ прибрежной подводной террасы, круто опускающейся до глубины 22 м. Уступ сложен крупными глыбами и валунами и по морфологии сходен с прибрежной осыпью, что позволяет принять ее за древнюю береговую линию.

От подножья уступа вглубь простирается вторая подводная терраса. У ее тылового шва аккумулируются осадки плохой сортированности – $S_0 = 4,0$, $Md = 0,73$ мм (проба 15). Глубже поверхность террасы слагают средние пески – $Md = 0,30$ мм, хорошо сортированные – $S_0 = 1,7$ (проба 14). С удалением от берега рельеф террасы, по данным эхолотирования, становится более расчлененным. На глубине 24 м терраса крутым уступом переходит на другой уровень.

Гранулометрический состав донных осадков

подводных склонов островов

Бухта Губбет-Каллансия (о. Сокотра)											
Номер пробы	Глубина м	%	Фракция, мм							Md, мм	S ₀
			>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25		
9	2	%	-	-	0,25	0,4	0,5	58,7	40,1	0,28	1,4
8	3	%	-	-	0,4	2,5	3,4	61,3	32,4	0,3	1,4
7	5	%	-	-	0,05	0,95	0,8	38,0	60,2	0,21	1,5
Остров Раунд-Айлет											
16	14	%	4,6	17,5	43,8	26,0	4,1	2,5	1,5	2,8	1,7
15	22	%	5,0	10,6	17,8	13,6	5,2	12,9	34,9	0,73	4,0
14	22	%	-	-	1,8	11,8	4,2	43,5	38,7	0,3	1,7
Восточный склон о. Коэтиви											
19	7	%	-	5,0	10,7	50,8	17,1	15,7	0,7	1,26	1,5
18	11	%	8,3	18,2	42,7	27,4	2,8	0,5	0,1	3,05	1,7
17	14	%	-	7,7	38,8	44,3	6,4	2,7	0,1	1,9	1,6
22	25	%	50,0	9,4	12,9	13,3	5,2	7,2	2,0	10,0	2,7
25	30	%	43,9	7,0	14,3	11,9	8,2	10,1	4,6	5,15	3,4
20	50	%	48,7	6,5	6,2	15,3	7,6	13,0	2,7	8,5	3,3

Западный склон о. Коэтиви											
28	0,5	%	47,3	6,1	16,4	14,3	4,6	6,8	4,5	5,8	2,8
29	3,0	%	34,6	1,2	2,7	6,4	8,7	34,0	12,4	0,68	6,1
30	4,0	%	15,2	6,8	14,2	37,8	13,2	10,4	2,4	1,57	2,1
32	10,0	%	23,2	9,6	18,7	21,5	9,7	13,0	4,3	2,13	3,2
39	13,0	%	31,0	9,4	17,9	21,9	8,1	9,0	2,7	3,1	3,1
36	19,5	%	3,7	12,9	31,8	27,4	9,3	10,5	4,4	1,95	2,1
Остров Коко											
48	1,5	%	35,3	23,2	13,2	13,6	7,3	5,5	1,9	6,5	2,5
45	2,0	%	-	-	1,0	12,7	16,1	62,7	7,5	0,4	1,4
44	4,0	%	-	-	1,0	11,1	25,3	54,6	8,0	0,42	1,5
49	5,0	%	-	4,0	28,3	47,0	10,0	10,5	0,2	1,5	1,5
43	6,5	%	3,0	1,9	1,8	17,5	13,3	52,1	10,5	0,43	1,7
51	10,0	%	-	3,9	36,1	43,8	7,2	7,3	1,7	1,7	1,6
Остров Сайрен											
48	1,5	%	35,3	23,2	13,2	13,6	7,3	5,5	1,9	6,5	2,5
45	2,0	%	-	-	1,0	12,7	16,1	62,7	7,5	0,4	1,4
44	4,0	%	-	-	1,0	11,1	25,3	54,6	8,0	0,42	1,5
49	5,0	%	-	4,0	28,3	47,0	10,0	10,5	0,2	1,5	1,5
43	6,5	%	3,0	1,9	1,8	17,5	13,3	52,1	10,5	0,43	1,7
51	10,0	%	-	3,9	36,1	43,8	7,2	7,3	1,7	1,7	1,6

Примечание: Md – медианный диаметр донных осадков, S_0 – коэффициент сортировки

В северной и западной части острова Раунд-Айлет на периферии томболо развит окаймляющий коралловый риф. Он выдвигается глубоко в бухту Сент-Анс-Бей. По данным эхолотирования и водолазного обследования риф имеет расчлененный рельеф. Характерными для его поверхности являются коралловые холмы высотой 3–5 м с крутыми склонами и остроконечными вершинами. Такие холмы с преобладающими на них ветвистыми формами кораллов встречаются до глубин 16–18 м. За пределами бухты подводный рельеф менее расчленен.

Остров Коэтиви является надводной частью погруженного атолла [5]. В основании атолла лежит подводная гора, поднимающаяся с глубин более 2 км. С западной стороны к берегу острова подступает лагуна, а восточный берег внешний для атолла.

Прибрежная часть восточного побережья с довольно отмелым подводным склоном представляет собой коралловую платформу –

риф-флет (рис. 2, В). Его поверхность сложенная сцементированными обломками кораллов имеет мелкобугристый рельеф. С глубин 8–9 м риф-флет переходит в зону шпор (гребней, отрогов) и каналов [2, 4] или баттресс [3]. Здесь дно по нормали к берегу прорезают эрозионные ложбины шириной 1,5–3,0 м и глубиной 1,0–1,5 м, чередующиеся с разделяющими их шпорами или гребнями. Их днища перекрыты маломощным слоем (1–3 см) рыхлых отложений. На участках ложбин вблизи берега донные осадки имеют наименьший медианный диаметр – 1,26 мм (см. табл.). Далее крупность осадков возрастает до 3,05 мм. На глубине 14 м на днище ложбин лежит мелкий гравий ($Md = 1,9$ мм). Сортированность осадков в прибрежной части склона, при интенсивной волновой переработке, хорошая – $S_0 = 1,5$.

Восточный склон атолла имеет неширокое мелководье. Уступ с крутым уклоном и неровной террасированной поверхностью располагается в 1–1,5 км от берега. Здесь аккумулируются осадки крупных фракций биогенного происхождения. На бровке склона доминируют осадки с медианным диаметром 10,0 мм и $S_0 = 2,7$ (проба 22). На глубине 30 м (проба 25) осадки имеют $Md = 5,15$ мм, а на глубине 50 м (проба 20) отлагаются осадки более крупных фракций ($Md = 8,5$). Сортированность осадков, ввиду слабого воздействия волнения на глубинные участки склона невысока – $S_0 = 3,3–3,4$. С глубин 50–60 м склон переходит в почти вертикальный обрыв или эскарп [3].

Подводный склон западной лагунной стороны острова значительно отличается по морфологии от восточного (рис. 2, Г). От береговой линии начинается риф-флет, на сцементированной коралловой поверхности которого аккумулируется крупнообломочный биогенный материал. Медианный диаметр осадков на риф-флете равен 5,8 мм, а коэффициент сортировки – 2,8 (см. табл.).

В 130 м от берега риф-флет начинают прорезать ложбины, ширина которых увеличивается от 1–2 м в верховьях до 10 м у подножья риф-флета. Глубина ложбин изменяется от 0,5 м до 2–3 м, Они, пересекая риф-флет, меандрируют, имея при этом генеральное направление по нормали к берегу. Их крутые стенки покрыты корковыми и

ветвистыми формами кораллов. Плоские днища ложбин заполнены рыхлым материалом. Поверхностный слой сложен плохо сортированными осадками – крупными обломками ветвистых кораллов и песками. Медианный диаметр осадков в верховьях ложбин равен 0,68 мм, а коэффициент сортировки – 6,1.

На отдельных участках ложбин в осадках преобладает фракция средне сортированного гравия ($S_0 = 2,1$, $Md = 1,57$ мм). Встречаются сцементированные и окатанные до размеров валунов обломки, а также массивные формы кораллов.

Устья ложбин выходят к подножью риф-флота на глубинах 8–9 м. Гребни разделяющие ложбины представляют собой мелкобугристую известняковую поверхность. Крутым уступом они заканчиваются на краю риф-флота.

От подножья риф-флота подводный склон имеет пологий уклон. Его поверхность сложена несцементированными обломками отмерших кораллов разной степени деструкции. Среди преобладающих крупных обломков ветвистых кораллов, известняковых валунов встречаются линзы более мелкого материала – гравия, песка. $Md = 2,13–3,1$ мм. Сортированность осадков низкая – $S_0 = 3,1–3,2$.

Однородную поверхность склона осложняют крупные положительные формы рельефа. Они имеют слегка уплощенные вершины и крутые склоны. Эти внутрилагунные коралловые холмы или пинэкклифы имеют высоту от 3 до 6 м. Их поверхность покрыта корковыми и ветвистыми формами кораллов.

В нижней части лагунного подводного склона в поверхностном слое осадков преобладает мелкий гравий ($Md = 1,95$ мм, $S_0 = 2,0$).

Острова Каргадос-Карахос

Острова Каргадос-Карахос – это группа (до 40) небольших островков расположенных в 300 км северо-восточнее острова Маврикий. Острова являются надводными частями крупного сложно организованного атолла, который тянется с севера на юг более чем на 50 км, в ширину – около 5 км. Вблизи островов часто формируются свои при-островные лагуны и окаймляющие рифы.

Остров Коко, один из южных островов архипелага Каргадос-Карахос окружает обширное мелководье. С западной лагунной стороны подводный рельеф имеет расчлененный характер. От острова протягивается мелководная известняковая терраса – лагунный флет [4] (рис. 2, Д). Она отделена от береговой линии приурезовой ложбиной (моут) глубиной 2 м с ассиметричным профилем. Склоны ее сложены крупным песком, а днище – галькой и гравием. Медианный диаметр осадков днища равен 6,5 мм, коэффициент сортировки – 2,5 (см. табл.).

На прибрежном участке наблюдается чередование микроподнятий до 0,5 м высотой, лишенных аккумулятивного чехла и мелких западин, заполненных рыхлыми осадками. Повсеместно встречаются известняковые валуны с корковыми формами кораллов. В западинах преобладают средние пески хорошей сортированности ($Md = 0,4$ мм, $S_0 = 1,4$), преобразованные волнением в рифели высотой 10-15 см.

В 200 м от берега мелководная известняковая терраса крутым уступом уходит в глубину. Край бровки прорезан по нормали к берегу системой ложбин шириной 3-10 м и глубиной 1-4 м, которые чередуются с разделяющими их шпорами или гребнями. Ложбины имеют отвесные склоны. Их днища сложены средними хорошо сортированными песками ($Md = 0,42$ мм, $S_0 = 1,5$) с включениями крупных обломков.

От основания уступа простирается дно лагуны шириной 100 м с наибольшей глубиной до 10 м. В поверхностном слое рыхлого биогенного материала преобладает мелкий гравий с медианным диаметром 1,55–1,7 мм. У подножья прибрежного участка риф-флета лежат средние пески ($Md = 0,43$). Осадки хорошо сортированы ($S_0 = 1,5–1,7$), что говорит об интенсивной гидродинамике в ложбине. Однообразный рельеф дна лагуны осложняют островершинные пики (пинэклы), покрытые корковыми формами кораллов.

С внешней стороны борта лагуны отвесными уступами поднимаются к поверхности риф-флета. Его мелкобугристая кавернозная поверхность лишена осадочного чехла и покрыта редкими и мелкими ветвистыми и массивными формами кораллов. Внешний край риф-флета приподнят и лежит на глубине 0,5 – 1,0 м в 400–500 м от берега.

У острова Сайрен, расположенного на севере архипелага Каргадос-Карахос, иная морфология подводных склонов (рис. 2, Е). В 50 м от берега на известняковом подводном склоне с глубинами 1–1,5 м сформирована система шпор и извилистых каналов с генеральной направленностью перпендикулярно берегу. Ширина шпор 4–5 м, ширина каналов 1–2 м при глубине 0,5–1 м. Из-за постоянно активной волновой деятельности на мелководье обломочный материал вымывается с приурезовых участков. Осадки мелких фракций в небольшом количестве накапливаются только в ложбинах, а также выносятся на глубину.

Поверхность пологого подводного склона покрыта крупными обломками кораллов ветвистых форм, микропонижения рельефа заполнены осадками мелких фракций – гравием, песками.

На глубинах 14–18 м подводный склон расчленен грядами, простирающимися параллельно берегу. Гряды, сложенные слабо сцементированными коралловыми обломками, чередуются с разделяющими их ложбинами. Высота гряд 2–4 м. Их профиль ассиметричен – мористый склон гряд более пологий. Поверхность гряд густо покрыта ветвистыми формами кораллов.

В разделяющих гряды понижениях аккумулируются биогенные осадки мелких фракций – гравий, крупный песок ($Md = 1,27$ мм, $S_0 = 1,6$) (см. табл.). Среди гравийно-песчаных осадков нередко встречаются известняковые валуны, покрытые кораллами.

За грядами склон выполаживается. Его относительно выровненная поверхность иногда осложняется небольшими котловинами заполненными рыхлыми осадками с медианным диаметром 1,82 мм и коэффициентом сортировки 1,6. На большей части подводный склон сложен крупными несцементированными обломками ветвистых кораллов, известняковыми валунами.

Заключение

Таким образом, в результате исследований определены основные особенности литологии подводных склонов островов разного типа. На материковом острове Сокотра наблюдается дефицит обломочного материала. Он поступает в основном с берега в результате абра-

зионных процессов и волнением распределяется по подводному склону от валунов у береговой линии, до песков у подножья, аккумулируясь в понижениях.

На коралловых островах основная масса обломочного материала имеет биогенное происхождение. Но на некоторых островах Сейшельского архипелага, базирующихся на гранитном фундаменте (о. Раунд-Айлет) и где развита система коралловых рифов, в составе донных осадков присутствует терригенный кластический материал.

На островах кораллового происхождения источником образования обломочного материала являются процессы разрушения колоний кораллов, раковин моллюсков, ежей, известковых водорослей, а также абразия коренных известняковых пород. При воздействии волнения и течений происходит перераспределение осадков на различных морфологических элементах рифов. Крупные обломки кораллов аккумулируются в местах их разрушения, а также выносятся с внешнего края рифа на прибрежные участки мелководного риф-флота, формируя иногда гряды, сцементированные при этом известковыми водорослями. Материал мелких фракций образуется как в результате абразии, так и в процессе деструкции известкового материала гидробионтами рифов – рыбами, моллюсками, губками, голотуриями, а также при отмирании и разрушении известковых водорослей. Наибольшая аккумуляция обломочного материала мелких фракций наблюдается в лагунах. Кроме того тонкий материал заполняет днища многочисленных ложбин и каналов рифов. Из-за сноса и аккумуляции крупных обломков кораллов в ложбины, в них отмечается и самая плохая сортированность донных отложений.

Литература

1. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.
2. Наумов Д.В., Пропп М.В., Рыбаков С.Н. Мир кораллов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 360 с.
3. Преображенский Б.В. Современные рифы. М.: Наука, 1986. 244 с.

4. Сорокин Ю.И. Экосистемы коралловых рифов. М.: Наука, 1990. 503 с.

5. Экология и рациональное использование островных экосистем / под ред. П.А. Каплина, В.Н. Космынина, Л.Г. Никифорова. М.: Изд-во МГУ, 1990. 267 с.

Reference

1. Kaplin P.A., Leontiev O.K., Lukyanova S.A., Nikiforov L.G. *Berega* [Shores]. Moscow, Mysl' Publ., 1991. 479 p. (in Russian)

2. Naumov D.V., Propp M.V., Rybakov S.N. *Mir korallov* [The world of coral]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1984. 360 p. (in Russian)

3. Preobrazhenskiy B.V. *Sovremennye rify* [Modern reefs]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 244 p. (in Russian)

4. Sorokin Yu.I. *Ekosistemy korallovyh rifov* [Ecosystems of coral reef]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 503 p. (in Russian)

5. Kaplin P.A., Kosmynin V.N., Nikiforov L.G. [eds.] *Ekologiya i racional'noe ispol'zovanie ostrovnyh ekosistem* [Ecology and rational use of island ecosystems]. Moscow, Publ. H. of Moscow State University, 1990. 267 p. (in Russian)