

ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ДИНАМИКЕ И МОРФОЛОГИИ КОРАЛЛОВЫХ БЕРЕГОВ В СВЕТЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О "ГЛОБАЛЬНОМ ПОТЕПЛЕНИИ"¹

Введение

Согласно определению В.П. Зенковича [1] "коралловым" называется берег, образование которого связано с рифообразующей деятельностью кораллов. В монографии "Берега" [2] авторы применяют определение "коралловый берег" для береговой зоны в целом. В пределах последней основная роль в формировании рельефа принадлежит рифостроителям – различным животным и растительным организмам, способным усваивать известь из морской воды и строить свои скелеты, из которых в последующем возникает коралловый риф.

Мы называем "коралловым берегом" собственно берег моря, образующийся или непосредственно в результате деятельности кораллов, сформировавших, например, примкнувший риф, или при накоплении обломочного кораллового материала и других скелетных остатков морских организмов в волноприбойной зоне.

В "чистом виде" коралловые берега характерны для океанических островов, где снос терригенного материала или отсутствует вовсе или незначителен, не подавляя процессов биогенного морфолитогенеза. На Кубе и ряде островов в экваториально-тропической зоне Тихого и Индийского океанов мы в свое время изучали современные процессы формирования берегов, окаймленных коралловыми постройками, а также позднечетвертичную историю их развития.

Было установлено, что коралловые берега чутко реагируют на изменения внешних условий, в том числе на климатические и эвстатические.

В настоящее время на наших глазах на планете происходят глобальные изменения. В первую очередь это касается климата. После завершения в XVIII в. Малого ледникового периода начался рост приземной температуры воздуха, особенно сильный с 70-х годов XX в. В последнее десятилетие регистрируются все более обширные положительные аномалии температуры поверхностных вод океанов. Продолжается повышение его уровня. По-видимому, природная обстановка приближается к некоторому климатическому максимуму, подобно тому, который существовал в середине голоцена и именовался "атлантическим периодом". В конце этого периода океаны испытали сильнейший стресс, связанный с климатическими изменениями и колебаниями уровня моря, что нашло свое отражение в изменении динамики и морфологии коралловых берегов. Мы предполагаем, что подобный период должен наступить в конце современного периода потепления, который не может продолжаться вечно. По-видимому, и современная трансгрессия океанов, темп которой в настоящее время несколько увеличился, прекратится или сменится регрессивной фазой. Когда это произойдет – трудно сказать, однако по аналогии с прошлым на это должно уйти одно – два столетия. Температурный стресс кораллы уже сейчас испытывают в полной мере. Понижение уровня даже кратковременное приведет к массовому разрушению вершин коралловых рифов и, следовательно, к изменениям в динамике и морфологии коралловых берегов.

"Горячие пятна" в океанах и обесцвечивание кораллов

В 1997 г. очередное экстраординарное событие в Тихом океане – сильнейшее Эль Ниньо – явление, связанное с системой океан – атмосфера в тропической Пацифике, оказало огромное влияние на погоду и климат всей планеты. Считалось, что коралловые рифы наиболее хорошо развиваются в теплых тропических водах. Однако сейчас все больше фактов доказывает, что излишне теплая вода может быть угрозой для экосистем коралловых рифов. Национальная администрация по изучению океана и атмосферы США (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) и ряд других научных организаций накопили большой объем фактических материалов по развитию так называемых "горячих пятен" в океанах и их влиянию на процесс деградации – обесцвечивания коралловых рифов (coral bleaching).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 97-05-64209 и № 00-05-64077).

Эль Ниньо 1997 г. стало реальной угрозой коралловым рифам [3]. Течение Эль Ниньо несет теплые воды с востока на запад Тихоокеанского океана. Эта теплая струя, как и остальные теплые аномалии в океане, регистрируются со спутников *Torpeh/Poseidon*.

Повышение температуры воды выше определенного предела, а также понижение уровня океана вызывает в экосистемах коралловых рифов сильнейший стресс, так как большинство рифообразующих кораллов адаптировано к водам с температурой, близкой к верхнему температурному пределу их жизнедеятельности в том или ином районе Мирового океана.

В 1982–83 гг. в Восточной Пацифике наблюдалось одно из наиболее сильных Эль Ниньо в XX в. В этот период погибли 75–95% кораллов Коста-Рики, Панамы, Колумбии и Галапагосских островов. Их гибель была связана с обесцвечиванием из-за приноса течением Эль Ниньо слишком теплых вод. Деградация кораллов ослабила устойчивость экосистемы рифа и привела к активизации хищников, в первую очередь таких, как морская звезда *акантасстер* – "терновый венец". В дальнейшем поверхность коралловых рифов начала разрушаться волновой, химической и другими видами эрозии, что привело к дальнейшей деструкции рифов, которая продолжается и сегодня.

В 1982–83 гг. одновременно с развитием Эль Ниньо в Западной Пацифике были зафиксированы низкие уровни океана, что вызвало выход на поверхность вершин коралловых рифов. Это способствовало отмиранию коралловых рифов на Гуама, Окинаве, острове Рождества, во Французской Полинезии, на островах Токелау и в других районах Тихого океана.

Последствия Эль Ниньо 1982–83 гг., связанные с необычно теплыми водами Тихого океана, через атмосферу сказались на климате соседнего Карибского региона в Атлантике, где обесцвечивание кораллов и деградация коралловых рифов приходится на период 1987–1990 гг.

До 1983 г. явление обесцвечивания коралловых рифов, связанное с потеплением поверхностных вод океана, известно не было. Это стало возможным только благодаря новой технологии спутниковых наблюдений, сопряженных с прямыми измерениями температуры воды. Разрастание "горячих пятен" в океанах и связанная с этим деградация коралловых рифов вызовет со временем существенные изменения в динамике и морфологии морских берегов в областях развития коралловых рифов.

Схематическое положение "горячих пятен" в экваториально-тропической зоне Мирового океана в 1997–98 гг. показано на рис. 1а. Наибольшая концентрация этих пятен наблюдалась в Карибском регионе, Индийском океане и в западной части Тихого океана. Температурные аномалии в поверхностном слое воды в пределах таких пятен могут достигать 2–3°C, как например в Индийском океане (рис. 1б), и даже 4°C у восточной окраины Австралии, захватывая Большой Барьерный Риф (рис. 1в).

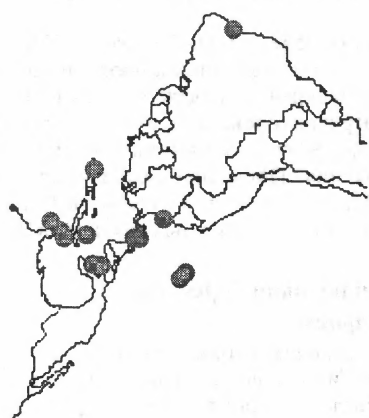
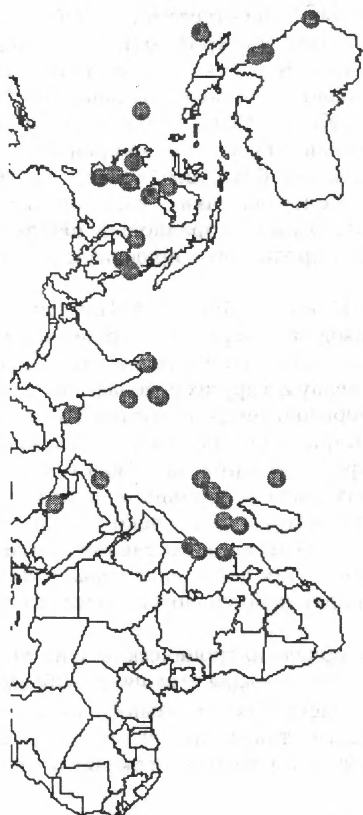
По Ю.И. Сорокину [4], явление обесцвечивания состоит в том, что в условиях температурного стресса и недостатка кислорода кораллы выбрасывают живые клетки (зооксантеллы), и на рифе остается только голый известковый скелет, аналогично тому, как это происходит при отмирании кораллов на борту судна струей воды.

Впервые массовое обесцвечивание кораллов было отмечено в 60–70-х годах XX в. на рифах Гуама, Флориды, Окинавы, о-ве Рождества. Мы такое явление наблюдали на Кубе [5]. Первоначально считалось, что виной всему хозяйственная деятельность человека в береговой зоне, в первую очередь сброс в море токсичных загрязнителей. Это, конечно, тоже имеет место. Однако причину массовой гибели кораллов в 1982–83 гг. большинство морских биологов связывают с потеплением вод тропической зоны океана. Последнее Эль Ниньо совпало с потеплением поверхностных вод во многих районах Мирового океана, не только в Тихом, но и в Индийском и Атлантическом, что фиксируется с помощью искусственных спутников Земли.

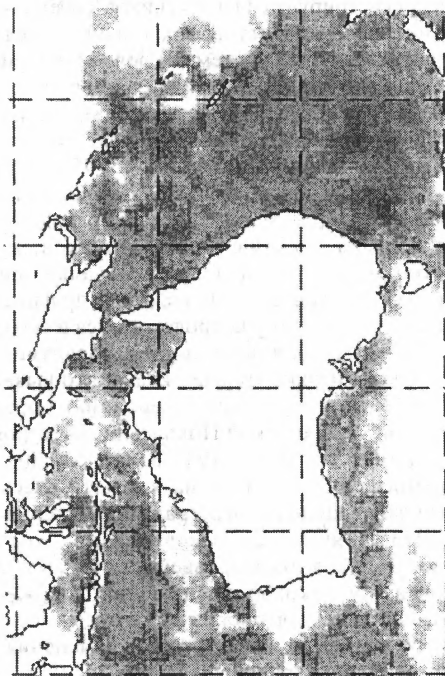
Роль коралловых рифов в формировании береговых аккумулятивных форм

Эта роль наиболее отчетливо проявляется в условиях изолированных океанических островов, где поток материала с суши отсутствует или невелик. Было бы неправильно полагать, что если карбонатный материал поступает на строительство береговых аккумулятивных форм со стороны моря, где в прибрежной зоне развиты коралловые рифы, то это преимущественно обломки кораллов. В книге "Фации шельфа" [6] отмечалось, что коралловый риф продуцирует широкую гамму фаций рыхлых отложений, которые в волновом поле береговой зоны подвергаются дифференциации по крупности, и при этом карбонатный материал перемещается к берегу и создает различные береговые аккумулятивные формы. Однако было бы ошибочным полагать, что в этом "потоке" преобладают обломки кораллов,

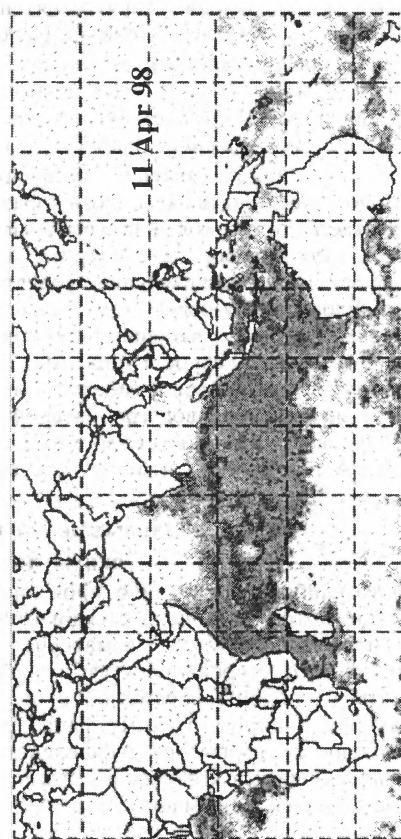
a



b



c



Состав фаций рыхлых отложений коралловых рифов, %

Фация	Район	Корал- лы	Корал- лины	Ракови- ны мол- люсков	Хали- меда	Фора- мини- ферры	Облом- ки из- вестня- ка	Прочие
Грубообломочных карбонатных отложений риффлета	Рифы Буэ-на-Эсперанса, Куба	48.0	16.0	28.0	5.0	3.0	–	–
Кораллово-халимедово-ракушечных песков риффлета	Риф Ла-Вела, Куба	16.6	2.7	48.3	18.0	5.5	6.5	3.0
Кораллово-ракушечно-халимедовых песков форрифа	Ямайка	10.0	15.0	28.0	30.0	5.0	12.0	–
Ракушечно-фораминифер-халимедовых песков внутреннего склона рифа	Риф Лос-Колордос, Куба	3.6	–	13.1	50.3	21.0	–	12.0

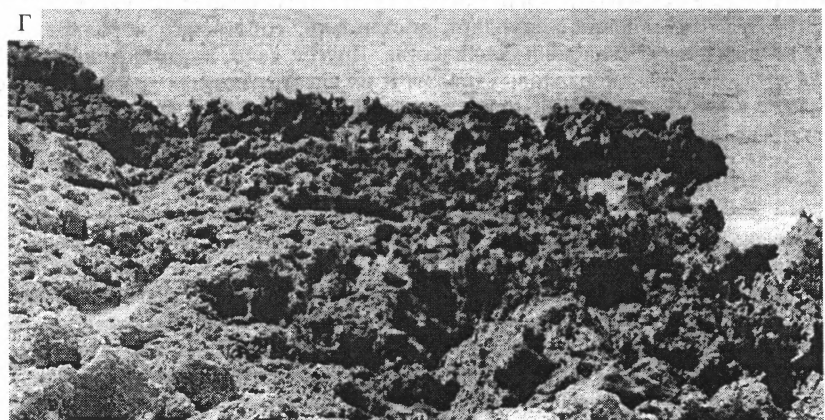
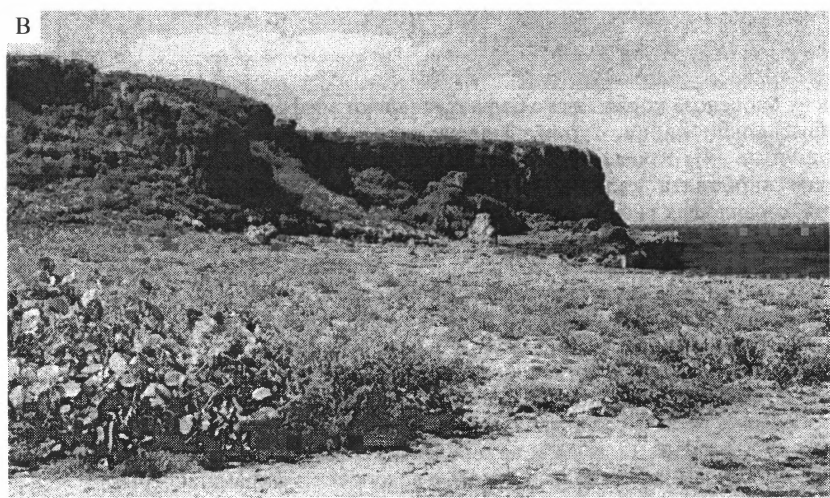
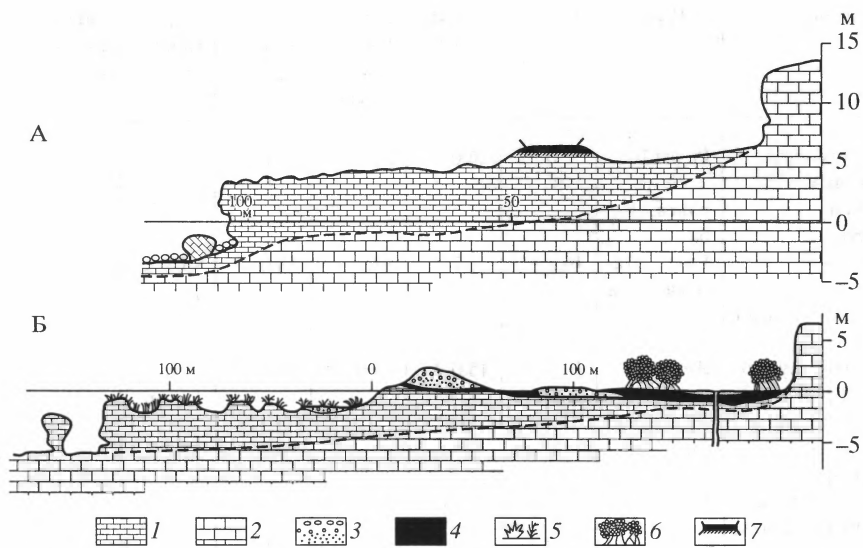
хотя основу биоценоза кораллового рифа составляют мадрепоровые кораллы. Им сопутствуют миллепоры, альционарии, губки, известковые водоросли, моллюски, мшанки, другие беспозвоночные [4]. Кроме того, биоценозы коралловых рифов продуцируют огромное количество карбоната кальция, который и является основным компонентом рыхлых отложений коралловых рифов. Как показали наши исследования [6], эти отложения состоят из различных карбонатных скелетных остатков бентосных организмов (табл. 1).

Так же точно и на пляжах, созданных в основном за счет разрушения биоценозов коралловых рифов, обломки кораллов – не основной компонент отложений. Так, на Кубе обломки кораллов в составе пляжевых песков полуострова Икакос, где расположен всемирно известный курорт Варадеро, составляют всего 3%, тогда как основными компонентами являются фораминиферы (50–60%), обломки ракушки (30–50%), листочки халимеды (11–20%) и карбонатные минералы кальцит и арагонит (7–17%). В Тихом океане на о-ве Фунафути в составе пляжевых песков содержание обломков кораллов от 9 до 30%, на о-ве Бутаритари ~ 25%, на о-ве Хермит от 12 до 27%, на о-ве Науру ~ 15%, на о-ве Тонга 20%. Остальную часть составляют обломки моллюсков, известковые водоросли и фораминиферы.

Таким образом, в обычных условиях, без экстремальных природных явлений, катаклизмов или значительных изменений природной обстановки, собственно коралловый материал поступает на берег в ограниченном количестве. Другое дело, когда возникают стрессовые ситуации в среде обитания коралловых рифов. К их числу относятся ураганы, землетрясения, экологические катастрофы и такие менее заметные, на первый взгляд, явления, как перегрев воды и осушение вершин коралловых рифов.

Рис. 1. "Горячие пятна" в океанах (The Global Coral Reef Alliance) <http://www.people.fas.harvard/goreau/bleach.intro.html>

a – районы Мирового океана, где кораллы были подвержены наиболее сильному обесцвечиванию в 1997–98 гг.; *б* – положительные аномалии температуры воды в Индийском океане в апреле 1998 г. (наиболее темный цвет соответствует аномалии 5°C выше максимума среднеклиматической температуры) <http://manati.wvb.noaa.gov/orad>; *в* – положительные аномалии температуры воды в Тихом океане у Западной Австралии в апреле 1998 г. (наиболее темный цвет соответствует аномалии 5°C выше максимума среднеклиматической температуры) <http://manati.wvb.noaa.gov/orad>



Специалисты полагают, что "живой" коралловый риф сравнительно хорошо противостоит морским волнам (исключая ураганные). Такой риф не поставляет в береговую зону большое количество крупнообломочного карбонатного материала. Но в том случае, если кораллы на рифе находятся в угнетенном состоянии и тем более если вершина рифа сохнет на длительное время, обломки отмерших кораллов выбрасываются волнами к берегу и идут на формирование береговых аккумулятивных форм, которые в тропической зоне океана довольно быстро подвергаются цементации и превращаются сначала в пляжевые "бич-рок", а затем в береговые террасы.

Формирование террасы "себоруко"

В экваториально-тропической зоне океанов многие берега, в первую очередь на коралловых островах, окаймлены террасами, сложенными цементированным карбонатным обломочным материалом, в том числе и обломками кораллов. Особенно широко распространена низкая, первая от уровня моря терраса, сформированная в среднем – позднем голоцене. На Кубе она получила название террасы "себоруко" по имени одного из мысов. Механизм и история ее формирования были хорошо изучены [7] и для удобства предлагалось распространить это название на все аналогичные террасы в других местах Мирового океана.

На Кубе широко распространены "лестницы" морских террас, которые в некоторых местах (мыс Майси на крайнем востоке острова) насчитывают до 13 ступеней и поднимаются на высоту до 400 м над уровнем моря. Первая и наиболее молодая из этих террас окаймляет практически все открытые воздействию сильных ветровых волнений участки побережья. Ее высота над современным уровнем моря колеблется от 1–4 м на большей части побережья Кубы до 6–7 м на востоке острова. Ширина террасы "себоруко" обычно составляет 20–100 м, но может достигать 500 м. Морской край террасы "себоруко" представляет собой вертикальный уступ обычно с волноприбойной нишей на уровне уреза воды. Ее тыльная часть примыкает к отвесному уступу (клифу), выработанному волнами моря в отложениях более высокой второй террасы (рис. 2А), сложенной, как и первая, литифицированным кораллово-ракушечным, иногда оолитовым, ракушечно-халимедовым или иным карбонатным материалом. Иногда поверхность террасы "себоруко" располагается почти на уровне моря и покрыта рыхлыми отложениями, в том числе песчано-гравийными, слагающими береговые валы, и илистыми лагунного типа в понижениях тыльной стороны террасы (рис. 2Б). Очертания как первой, так и второй террас, как правило, в общем повторяют очертания современной береговой линии, что указывает на общность и унаследованность процессов их образования. Поперечный профиль поверхности террасы имеет много общего с профилем береговой аккумулятивной формы типа пляжа полного профиля.

В некоторых местах терраса "себоруко" сложена в верхних горизонтах цементированными обломками массивных кораллов и крупными раковинами моллюсков *Strombus gigas*, как, например, на северном побережье Кубы в районе мыса Хиакоа (рис. 2В). На поверхности террасы обычно залегают чрезвычайно прочные сильно изъеденные карстом известняки (рис. 2Г), которые на Кубе называют *Diento de perro* ("собачьи клыки"). Фронтальная часть террасы имеет вертикальный уступ с нависающими козырьками, волноприбойными нишами, гротами и туннелями. На северо-восточном побережье Кубы в районе мыса Хибара в траншее, прорубленной в толще террасы "себоруко", мы обнаружили, что под верхним твердым покровом цементированных обломков кораллов залегает слабо цементированная, почти рыхлая толща кораллово-ракушечного песка и гравия с примесью обломков темноцветных метаморфических пород. На юго-восточном побережье Кубы у подножья гор Сьерра-Маэстра, в особенности вблизи устьев рек, отложения террасы нередко включают гальку и даже мелкие валуны кристаллических пород. На некоторых островах северного обрамления Кубы (острова Романо, Коко, Санта-Мария и др.), на южном берегу острова Пинос, на острове Кайо Ларго и других островах архипелага Лос-Канарреос (южное обрамление залива Батабано) эта терраса в основном сложена оолитовыми песчаниками.

Рис. 2. Терраса "себоруко" на острове Куба

А, Б – поперечные профили первой от современного уровня моря террасы "себоруко".

1 – кораллово-ракушечный литификат, 2 – известняки, 3 – песок, галька, гравий, 4 – лагунные отложения, 5 – водоросли и кораллы, 6 – мангры, 7 – шоссе.

В – первая ("себоруко") и вторая террасы на северном побережье Кубы у мыса Хиакоа (фото Ю.А. Павлидиса).

Г – поверхность террасы "себоруко" – "собачьи клыки"

Радиоуглеродные датировки террасы "себоруко"

Индекс лаборатории или источник	Материал	Место отбора	Абс. отметка, м	Возраст, лет
МГУ-417	Кораллы	Куба, мыс Гуанос, терраса "себоруко"	+2	2240 ± 150
МГУ-418	"	"	+2	2230 ± 130
МГУ-419	Раковины	"	+2	1980 ± 120
ГИН-510	"	Куба, Мариэль, терраса "себоруко"	+5	3889 ± 130
ГИН-511	"	Куба, Ориенте, терраса "себоруко"	+5	2290 ± 110
ГИН-513	"	Куба, мыс Себоруко, терраса "себоруко"	+5	2090 ± 100
МГУ-1097	Органогенный известняк	Индийский океан, Амирантская банка, о-в Ресурс	+2	2070 ± 220
МГУ-1092	Кораллы	Индийский океан, о-в Фаркуар	+2	2160 ± 230
МГУ-689	Обломки кораллов	Индийский океан, Сейшельские о-ва, о-в Берд	+2	2200 ± 460
МГУ-980	Раковины моллюсков	Индийский океан, Амирантская банка, о-в Африкан	+1.5	3020 ± 300
МГУ-972	То же	Индийский океан, Сейшельские о-ва, о-в Дени	+2	2880 ± 200
Bellair, 1996	Обломки кораллов	Тихий океан, Кокосовые о-ва	+4	5500

Анализируя строение террасы "себоруко", ее плановые очертания, профили, характер и условия залегания материала, можно со всей определенностью говорить, что по происхождению она в большинстве случаев является законсервированной цементацией береговой аккумулятивной формой, образованной в результате выброса со дна коралловых обломков, раковин моллюсков и песка. Обломки кораллов в различной степени окатаны, что свидетельствует о пребывании их в зоне прибоя.

По данным радиоуглеродных датировок возраст террасы "себоруко" и ее аналогов в Индийском [8] и Тихом [9] океанах составляет 2–4 тыс. лет (табл. 2). Таким образом, терраса "себоруко" и ее аналоги в других местах Мирового океана были образованы в конце атлантического – начале бореального периода голоцена, когда уровень Мирового океана, в принципе, достиг современного положения. Однако он не был строго стабильным и, как показали наши исследования на Кубе, уровень моря в промежутке между 3-м и 4-м тыс. лет назад слегка превысил нулевую отметку, а около 2-х тыс. лет назад несколько понизился (рис. 3).

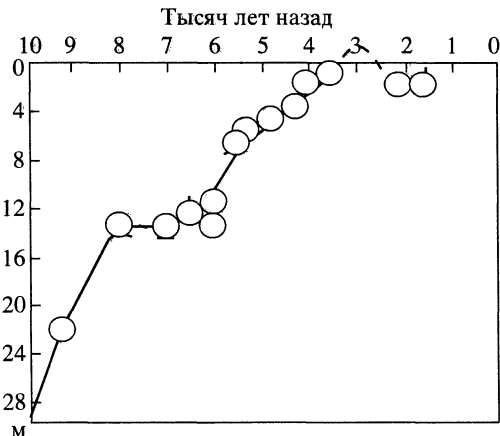
Повышение уровня моря выше "ординара" привело к тому, что вершины коралловых рифов оказались "подтянутыми" к этому высокому уровню. Когда же уровень понизился, вершины рифов осохли, стали интенсивно разрушаться волнами, а обломки кораллов и другой карбонатный материал выбрасывался к берегу и шел на создание береговых аккумулятивных форм. В короткое время эти формы, сложенные карбонатной биогенной брекчией, были сцементированы, а затем подрезаны с фронтальной стороны абразией, в результате чего и был сформирован внешний уступ террасы "себоруко". Не исключено, что во время наиболее теплого периода голоцена – атлантического и сразу же после него в поверхностных водах Мирового океана существовали теплые аномалии по отношению к некоему среднепоголетному температурному фону. Как и сейчас, они могли приводить к деградации кораллов, и это вместе с колебанием уровня моря привело к массовому разрушению коралловых рифов в послеоатлантический период голоцена.

Наиболее вероятное развитие "коралловых" берегов

В позднем голоцене происходили флуктуации климата и почти синхронные им изменения в скорости новейшего повышения уровня Мирового океана. Исследования американских ученых по этой проблеме [10–12] показали, что за последние 1500 лет уровень океана, во всяком случае

Рис. 3. Кривая изменения уровня моря у берегов Кубы в голоцене в период с 8 до 2 тыс. лет назад [7]

Кружки – положение образцов мангровых торфяников (сапропелей) относительно современного уровня моря, для которых был определен абсолютный возраст по ^{14}C . Сплошная линия – достоверная кривая изменения уровня моря, пунктир – предполагаемая



в северной половине Атлантики, продолжал повышаться, но с разной скоростью. Данные были получены на основании результатов изучения разрезов отложений прибрежных маршей с послойным их датированием по ^{14}C . Учитывалось, что скорость накопления отложений в прибрежных маршах соизмерима со скоростью относительного подъема уровня моря. Таким способом были получены данные о положении уровня моря относительно современного "нуля глубин" на восточном побережье США и на восточном побережье Англии. Поражает удивительное совпадение кривых изменения относительного уровня моря (рис. 4), что позволяет, в принципе, говорить о всеобщей для Атлантики (во всяком случае для ее северной половины) трансгрессии. Оказалось, что 1500 лет назад, т.е. в начале субатлантического периода, уровень океана находился на отметке примерно -2 м, что согласуется с нашей "эвстатической кривой", построенной по материалам исследований на Кубе. Именно с этого времени, по-видимому, и начался последний этап повышения уровня океана, который продолжается до сих пор. Период 500–1000 гг. характеризовался скоростью повышения уровня ~ 1 мм/год. Стабилизация уровня или даже небольшой регрессивный сдвиг на отметках 1.2–1.3 м, происходившие приблизительно с 1200 по 1600 г., более или менее соответствует Малому ледниковому периоду (примерно 1500–1750 гг.). Затем началось повышение уровня со скоростью несколько миллиметров в год, которое продолжается сейчас и имеет тенденцию к увеличению в конце XX – начале XXI вв. Далее американские авторы задаются вопросами: когда закончится этот подъем уровня моря? Можно ли коррелировать его с потеплением климата? Является ли в современной геологической истории такой подъем уровня исключительным событием? Для авторов расчета скоростей современной трансгрессии океана ответы на эти вопросы важны в связи с прогнозом размыва берегов. Для наших целей предположения о возможном увеличении или, наоборот, остановке трансгрессии представляют интерес в качестве одной из предпосылок прогноза изменения в динамике и морфологии "коралловых" берегов в ближайшие столетия.

В настоящее время при продолжающейся трансгрессии в океанах преобладают процессы размыва коралловых берегов. Это касается как уступа низкой террасы "себоруко", который подвергается интенсивной волновой и химической абразии, так и береговых аккумулятивных форм, например пляжей курорта Варадеро, где мы проводили в свое время изыскания по выработке мер по их защите.

Представим себе, что трансгрессия в океанах после достижения некоторого уровня выше современного по ряду причин остановится, наступит период относительной стабилизации с кратковременными регрессивными флуктуациями, как это было, например, 1000 лет назад. Ситуация вполне возможная, что мы показали в виде гипотетической кривой на период 2000–2250 гг. (рис. 4). В условиях, когда коралловые рифы уже находятся в состоянии угнетения, произойдет массовое разрушение их вершин с образованием большого количества карбонатного обломочного материала. По законам динамики береговой зоны этот крупный материал будет перемещаться к берегу и формировать аккумулятивные формы в виде пляжей и примкнувших террас. Это станет возможным на участках с пологим подводным склоном или в местах, где терраса "себоруко" имеет небольшую высоту и глубина у основания ее морского уступа невелика. Иными словами, наступит этап оживления аккумулятивного процесса на

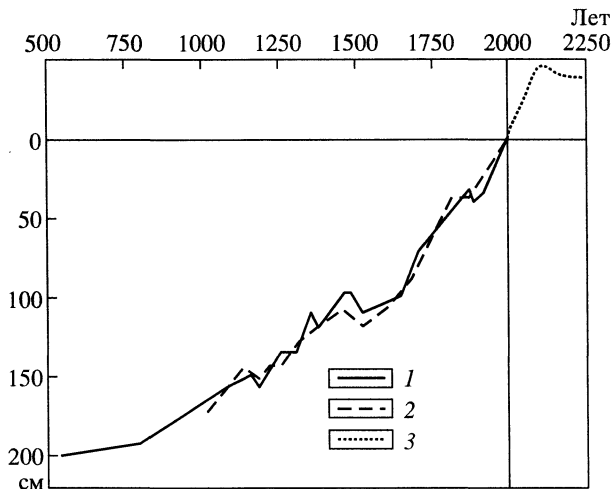


Рис. 4. Кривая повышения уровня океана в Атлантике у берегов США и в Англии за последние 1500 лет [10–12] и возможное развитие этого процесса в ближайшие столетия

1 — кривая, полученная в результате датирования по ^{14}C маршевых отложений в районе о-ва Лонг-Айленд (США), 2 — то же на восточном побережье Англии, 3 — предполагаемое изменение уровня океана в начале третьего тысячелетия

коралловых берегах. Находясь в зоне действия геохимического барьера "берег-море", вновь созданные аккумулятивные формы подвергнутся обычному для экваториально-тропической зоны процессу цементации. Впоследствии внешние стороны литифицированных береговых аккумулятивных форм могут оказаться объектами волновой и химической абразии. В результате будет сформирована новая терраса — аналог позднеголоценовой "себоручо".

Современное глобальное потепление началось с конца Малого ледникового периода, который продолжался примерно с 1250 по 1750 г. [13, 14]. Предыдущий относительно теплый период относится к Средневековью, примерно к 1000–1250 гг. Таким образом, смена теплых и холодных периодов за последнее тысячелетие, включая переходные эпохи, происходила с периодичностью ~ 250 лет. Если такая тенденция будет продолжаться, то период с 1750 по 2000 г. нужно считать переходным к очередному теплему периоду, который возможно ознаменует первое столетие третьего тысячелетия. Следуя такой ретроспективе, "торможение" трансгрессии океана или наступления некоторой регрессивной фазы нужно ожидать не ранее конца XXI — начала XXII вв. Именно тогда, видимо, и произойдет существенная перестройка морфодинамических процессов у коралловых берегов, свидетелями которой будут, очевидно, наши потомки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
2. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.
3. El Nino a potential threat to coral reefs // NOAA's Reporter's Coral Reef Tip Sheet June 30, 1997 — Week 26.
4. Сорокин Ю.И. Экосистемы коралловых рифов. М.: Наука, 1990. 503 с.
5. Ионин А.С., Павлидис Ю.А. Печаль в коралловом раю // Знание-сила. 1968. № 9. С. 32–36.
6. Павлидис Ю.А., Шербаков Ф.А. Фации шельфа. М.: ИО РАН, 1995. 192 с.
7. Ионин А.С., Павлидис Ю.А., Авельо-Суарес О. Геология шельфа Кубы. М.: Наука, 1977. 215 с.
8. География Сейшельских островов / Каплин П.А., Космынин В.Н., Никифоров Л.Г. М.: Изд-во МГУ, 1990. 267 с.
9. Никифоров Л.Г. Последледниковое эвстатическое повышение уровня океана и его значение для развития морских побережий // Колебания уровня Мирового океана и вопросы морской геоморфологии. М.: Наука, 1975. С. 12–40.
10. Verekamp J.C., Thomas E., van de Plassche O. Relative sea level rise and climate change over the last 1500 years // Terra Nova. 1992. № 4, special issue, Global Change (ed. Wezel), P. 293–304.
11. Nydick K.R., Bidwell A., Thomas E., Verekamp J.C. A sea-level rise curve from Guilford, CT // Marine Geology. 1995. № 124. P. 137–159.
12. Thomas E., Verekamp J.C. Paleo-Environmental analyses of marsh sequences: Evidence for punctuated sea-level rise during the latest Holocene // J. Coastal Research. 1991. Special issue. № 11. P. 125–158.
13. Bradley R.S., Jones P.D. "Little Ice Age" summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends // Holocene. 1993. № 3. P. 367–376.
14. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 407 с.

EVENTUAL CHANGES IN THE CORAL COASTS' MORPHOLOGY AND DYNAMIC IN THE LIGHT OF "GLOBAL WARMING" CONCEPT

Yu.A. PAVLIDIS

S u m m a r y

Coral coasts are very sensitive to environmental changes including climatic and eustatic variations. Global changes of nowadays manifest itself in climate warming, in sharp increasing of marine surface positive temperature anomalies, in sea level rise. The modern climatic conditions approach to a kind of climatic optimum like the middle Holocene optimum named "Atlantic period", when "Seboruko" terrace, consisted mainly of coral fragments, was formed. Probably, the sea level rise after reaching its extreme will decrease as it happened before. Like the several last analogous events, this phase could take one-two centenary. Corals undergo now strong temperature impact, which manifests in their decoloration. Sea level decrease even during short period may cause wide destruction of coral reef tops followed by intensive accumulation of carbon material on the seabed. In accordance with the regularities of the coastal dynamics this loose material will move to and along the coastline and form accumulative relief such as beaches and terraces. Being within geochemical sealand barrier in equator-tropical climate these landforms will undergo the intensive cementation processes. As a result new terrace will be formed like Late Holocene "Seboruko" terrace.

УДК 551.435.11(282.247.415)

© 2002 г. О.М. ПАХОМОВА

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ИХ СВЯЗЬ С ПОРЯДКОВОЙ СТРУКТУРОЙ РЕЧНОЙ СЕТИ¹

Берега рек, а также прибрежные части поймы и низких террас являются объектами интенсивного хозяйственного освоения (бытовое и промышленное строительство, использование в сельскохозяйственных целях, сооружение мостовых переходов, опор линий связи и электропередач, прокладка нефте- и газопроводов). При размывах берегов могут быть уничтожены освоенные территории, разрушены здания и сооружения. Недооценка размывов зачастую приводит к аварийным ситуациям. В последнее время в условиях снижения возможностей проведения натурных исследований или полного их отсутствия, ухудшения качества или трудности получения гидрометеорологической сетевой информации остро встал вопрос о возможности применения при оценках интенсивности русловых переформирований для неизученных рек сведений о порядках рек, зависящих от структуры речной сети, с выявлением связей между ними.

Размывы берегов на реках разных порядков изучались на примере бассейна р. Белой, левого притока р. Камы. Бассейн р. Белой расположен на востоке Восточно-Европейской равнины и в пределах западной и центральной частей Уральских гор. Площадь бассейна 142000 км², длина главной реки 1430 км, средний многолетний расход воды в замыкающем створе 550 м³/с (гидрологический пост у д. Андреевка). Для анализа горизонтальных деформаций на морфологически однородных участках рек бассейна р. Белой были отобраны следующие сведения: 1) преобладающий морфодинамический тип русла (по классификации Р.С. Чалова [1]); 2) литология берегов (скальные, глинистые, суглинистые, песчаные); 3) руслообразующие наносы (илистые, песчаные, песчано-галечные и галечные); 4) скорость размыва берегов (по грациям 0 – нет размыва, < 2, 2–5, 5–10 м/год). Перечисленные выше сведения были получены из базы данных ГИС "Реки России" [2], в составлении которой автор принимала участие вместе с рядом сотрудников НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева МГУ. Средние темпы отступления берега определялись непосредственным наложением разновременных топографических карт м-ба 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Средняя скорость размыва

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке программы ведущих научных школ (проект № 00-15-98512) и РФФИ (проект № 00-05-64690).