

Глава 6. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ

6.1. Волновая абразия берегов

Разрушительная деятельность моря называется *абразией*. Она связана главным образом с волновыми движениями и в значительно меньшей степени с приливно-отливными. Сильнее всего абразия проявляется у приглубых берегов. Штормовые волны ударяют с большой силой (местами до 30 т/м и более) о крутой берег. Под их воздействием в основании крутого берегового уступа, где сосредоточена наибольшая сила гидравлического удара, возникает так называемая *волноприбойная ниша* (рис. 6.1), над которой остается карниз нависающих пород. Разрушительная деятельность волн усиливается захватываемыми ими различными обломками горных пород. При дальнейшем разрастании волноприбойной ниши наступает момент, когда устойчивость карниза нарушается и происходит обрушение пород. После обрушения берег вновь представляет отвесный обрыв, называемый *клифом*. В дальнейшем процесс может повторяться развитием новых волноприбойных ниш.

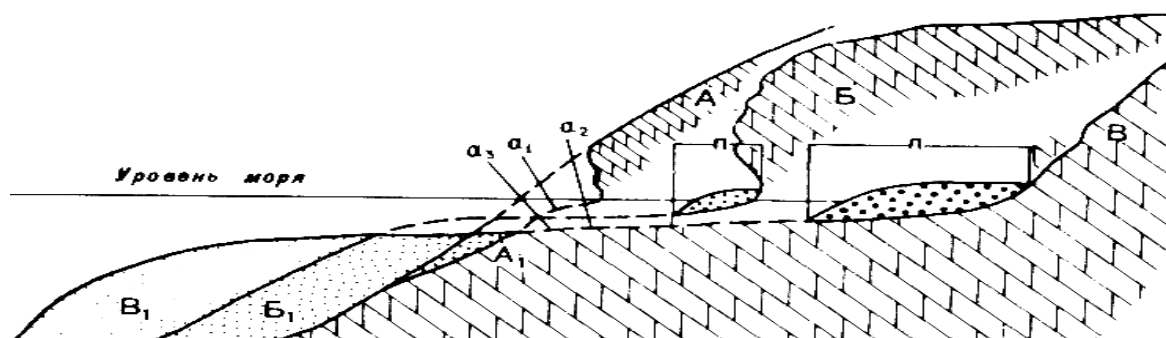


Рис. 6.1. Схема последовательных стадий отступления берега (Зенкевич и др. 1967):

$a_1 - a_3$ — различные положения абразионных террас; A, B, B — различные положения отступающего берегового склона, абрадируемого морем; пунктиром показаны абразионные террасы, соответствующие различным стадиям развития берега; A_1, B_1, B_1 — различные стадии развития подводной аккумулятивной террасы; П — пляж.

Таким образом, берег отступает в сторону суши, оставляя за собой слабо наклонную подводную *абразионную террасу*, или *бенч*. Часть обрушившегося обломочного материала выносится на крутой подводный склон за пределы абразионной террасы и откладывается. Так образуются подводные *аккумулятивные террасы*, сопряженные с абразионными.

В районах развития вечной мерзлоты многие участки береговой линии сложены породами, представленными мерзлыми осадочными отложениями, в которых роль цемента выполняет лед. При отрицательных температурах эти породы обладают высокой прочностью. Но при воздействии морских волн такие породы быстро разрушаются не столько за счет механического воздействия, сколько за счет воздействия положительных температур морской воды. Процесс разрушения морскими волнами берегов, сложенных мерзлыми породами, за счет температурного воздействия называется *термоабразией*. Процессы термоабразии получили широкое развитие на побережьях арктических морей, где берега, сложенные мерзлыми породами, подвергаются интенсивному разрушению, и береговая линия смещается в сторону суши.

6.2. Профиль равновесия

Последовательный рост аккумулятивных террас постепенно превращает приглубые берега в отмелье. При подходе к такому берегу волны разрушаются и теряют энергию, не доходя до береговой линии. На отмельях берегах постепенно наращиваются пляжи и формируется относительно устойчивый *профиль равновесия*, предотвращающий дальнейшее разрушение берега.

Основные элементы береговой зоны со сформированным профилем равновесия показаны на рис.6.2. В ее пределах выделяют верхний и нижний пляжи, подводный береговой склон и подножие этого склона.

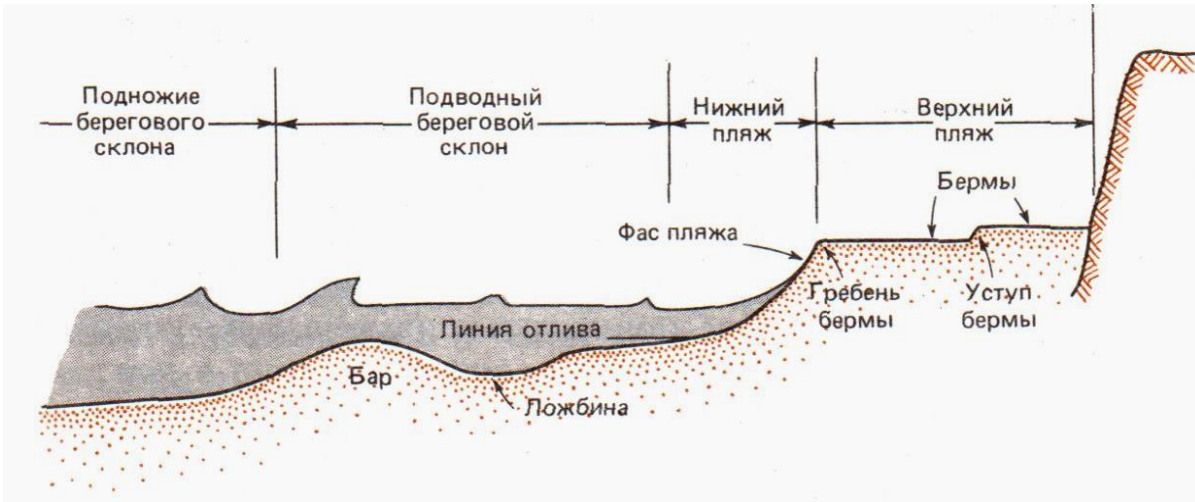


Рис.6.2. Элементы береговой зоны со сформированным профилем равновесия (Dolan et al., 1980).

Верхний пляж находится выше уровня прилива и представлен одной или несколькими аккумулятивными трассами (*бермами*), сформированными во время сильных штормов. Со стороны моря верхний пляж ограничен резким перегибом поверхности – *гребнем бермы*, который соответствует наивысшей точке, доступной волнам при нормальном режиме. Ниже гребня бермы находится *фас пляжа* – наклонный отрезок профиля пляжа, обычно находящийся в пределах заплеска волн. Уклон фаса пляжа зависит от размерности слагающего обломочного материала и может меняться от первых градусов (на мелкопесчаных пляжах) до первых десятков градусов (при валунно-галечной размерности обломков). Нижний пляж соответствует приливно-отливной зоне. Мористее нижнего пляжа находится подводный береговой склон, включающий вдольбереговой бар и ложбину со стороны нижнего пляжа. Подножие внешнего склона вдольберегового бара соответствует подножию берегового склона.

Нижний пляж и подводный береговой склон являются весьма динамичными элементами береговой зоны, расположение которых зависит от сезонной волновой активности. Вдольбереговые бары формируются в зоне разрушения волн, положение которой контролируется длиной приходящей волны. В осенне-зимние сезоны сильных штормов длины волн возрастают. Соответственно, возрастает удаленность от берега зоны разрушения волн, и вдольбереговые бары мигрируют в направлении от береговой линии. Штормовые волны, кроме того, обычно приводят к частичному размыву пляжа и смещению гребня бермы в сторону суши. В весенне-летние сезоны сравнительно спокойного волнения моря подводные вдольбереговые бары мигрируют в сторону береговой линии. При этом в такие сезоны обычно происходит наращивание пляжа, т.е. смещение гребня бермы в сторону моря.

6.3. Вдольбереговые и разрывные течения

При подходе волн к берегу под острым углом, направление передачи их кинетической энергии имеет вдольбереговую составляющую, при этом в зоне морского прибоя параллельно пляжу возникают *вдольбереговые течения*. Скорости вдольбереговых течений максимальны в полосе между зоной прибоя и пляжем и резко падают до нуля мористее зоны прибоя. Каждая волна, подходящая под косым углом к берегу, вносит свой вклад во вдольбереговую составляющую в зоне прибоя.

Подход волн к берегу сопровождается нагоном воды к береговой линии, который компенсируется обратным ее стеканием через зону прибоя в виде сравнительно узких течений, называемых *разрывными течениями*. В результате комбинации компонентов волнового массопереноса, вдольбереговых и разрывных течений в береговой зоне формируется ячеистая система циркуляции.

При подходе волн перпендикулярно береговой линии в береговой зоне формируются симметричные ячейки прибрежной циркуляции (рис.6.3), в которых вдольбереговые течения между соседними разрывными течениями направлены в противоположные стороны, а их скорость возрастает в направлении разрывных течений. При косом подходе волн симметрия ячеек нарушается и в динамике прибрежной циркуляции начинает преобладать составляющая, направленная вдоль берега по направлению движения волн.

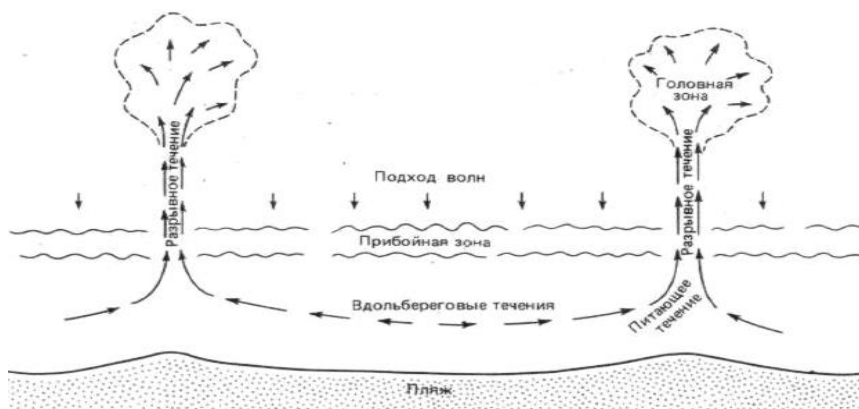


Рис.6.3. Схема симметричной ячейки прибрежной циркуляции при подходе волн по нормали к береговой линии по (Shepard and Inman, 1951).

Обломочный материал, переносимый системой прибрежной циркуляции, продвигается по довольно сложной траектории. Сначала волны выносят обломочный материал в прибрежную зону, после чего вдольбереговые, а затем и разрывные течения возвращают его обратно. Тем не менее, результирующее продвижение определяется преобладающим направлением вдольбереговых течений, т.е. обломочный материал, совершая движения по сложным пилообразным траекториям, постепенно все же перемещается вдоль берега по преобладающему направлению вдольбереговых течений.

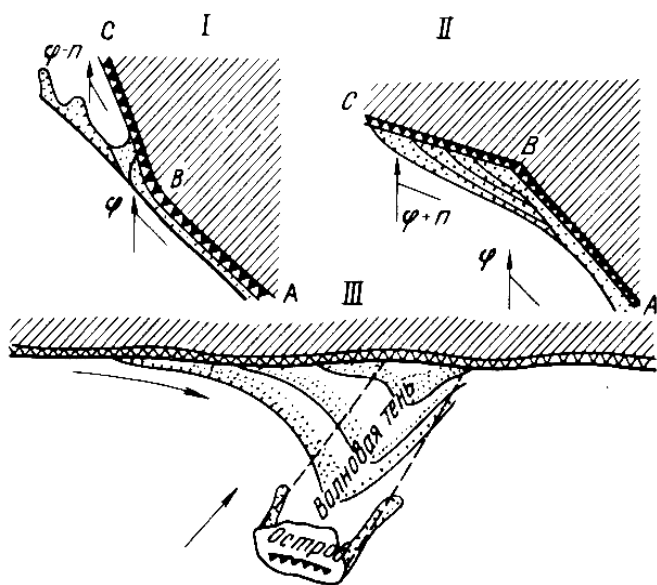


Рис.6.4. Схема образования некоторых аккумулятивных форм при различном направлении подхода волн к берегу (по Зенкевичу и др., 1967).
 А, В, С — положение береговых линий; I — коса при повороте береговой линии от моря; II — примкнувшая аккумулятивная терраса при повороте берега к морю (заполнение угла); III — томболо или перейма, при блокировке участка берега островом.

боло, или *перейма*, нарастающая при блокировке участка берега островом с образованием «волновой тени» между берегом и островом.

6.4. Аккумулятивные образования береговой зоны, эстуарии и лагуны

Перенос обломочного материала вдольбереговыми течениями является основным механизмом транспортировки продуктов абразии и твердого стока рек вдоль береговой линии. При этом, в зависимости от очертаний береговой линии и преобладающего угла подхода волн, в береговой зоне могут формироваться различные аккумулятивные образования (рис. 6.4). Выделяются три аккумулятивные формы: 1) *косы*, возникающие при изгибе берега от моря; 2) *примкнувшая аккумулятивная терраса*, образующаяся путем заполнения изгиба берега в сторону моря; 3) *том-*

В результате голоценовой трансгрессии приустьевые долины рек и фиордов, впадающих в открытые морские бассейны, были затоплены, образовав полузамкнутые бассейны, получившие название *эстуарии (лиманы)*. По внешнему виду эстуарии чаще всего представляют собой узкий, вытянутый в сторону суши залив. Эстуарии, как правило, имеют свободное сообщение с океаном, но вода в них заметно распреснена за счет речного стока. В этих прибрежных бассейнах задерживается основная часть выносимого реками обломочного материала и формируются современные дельты. Здесь же за счет смешения речных вод с морскими выпадает в осадок значительная часть растворенных в речных водах химических соединений.

Большое влияние на динамику водного режима и осадконакопления в эстуариях оказывают приливно-отливные процессы. Там, где приливы и отливы имеют небольшую амплитуду, в эстуариях, чаще всего, наблюдается достаточно четкая стратификация водной массы на верхнюю (пресную) и нижнюю (соленую) толщи. В таких эстуариях возможно возникновение внутренних волн. При высокоамплитудных приливно-отливных колебаниях уровня моря в эстуариях за счет турбулентности, создаваемой приливно-отливными волнами, происходит перемешивание пресных и соленых вод и стратификация водной толщи по солености, как правило, не наблюдается.

Наличие эстуариев – признак неустановившегося процесса формирования береговой зоны, обусловленного стремительной голоценовой трансгрессией. По подсчетам специалистов, основная часть эстуариев при существующей интенсивности выноса реками обломочного материала и стабильном уровне океана в ближайшие несколько тысяч лет будет полностью погребена осадками и прекратит свое существование.

При интенсивном поступлении обломочного материала, компенсирующем скорость голоценовой трансгрессии, в устьях рек эстуарии не образуются. Вместо них формируются дельты, постепенно смещающие береговую линию в сторону моря. Дельты таких крупных рек, как Нил, Ганг, Амазонка, Брахмапутра, Миссисипи и др. выдвинулись в сторону моря, сформировав обширные подводные аккумулятивные тела (авандельты) на прилегающих участках шельфа.

Морские бассейны, отделенные от открытого моря различными аккумулятивными образованиями (типа кос, барьерных островов и баров) называются *лагунами*. Обычно, лагуны представляют собой вытянутые вдоль береговой линии сравнительно узкие бассейны. Соленость вод в лагунах зависит от степени их изоляции от открытого океана, наличия стока рек и амплитуды приливов, но в большинстве случаев мало отличается от солености вод в прилегающих морских бассейнах. В случае ограниченного водообмена лагун с открытыми морскими бассейнами соленость их вод за счет испарения может значительно превышать нормальную, вплоть до выпадения солей в осадок.

Лагуны и ограничивающие их барьеры распространены на большей части побережий Мирового океана. Барьеры, как правило, представляют собой колоссальные аккумулятивные тела, обычно сложенные песками. Их протяженность измеряется десятками километров, но в некоторых случаях достигает 150-200 км. Ширина барьеров обычно заключена в пределах от нескольких сот метров до нескольких километров. Многие барьеры выступают над поверхностью воды во время отливов или возвышаются над поверхностью воды на величину до первых десятков метров, образуя линейно вытянутые полосы суши (барьерные острова) обычно прорезанные приливными протоками на отдельные части.

На рис.6.5 приведен пример крупного барьерного острова Падре и отгороженной этим островом лагуны Мадре на восточном побережье Мексиканского залива (штат Техас, США). Протяженность этой системы барьер-лагуна превышает 200 км при поперечных размерах лагуны до 10 км и барьерного острова 1-3 км.

Подобные системы чрезвычайно широко распространены на побережьях Мирового океана и его окраинных морей, в том числе на охотоморских побережьях Камчатки и Сахалина.

Вопрос о происхождении систем барьер-лагуна до настоящего времени является дискуссионным. Это относится, в основном, к происхождению барьеров, ограничивающих лагуны. По-видимому, они могут иметь различное происхождение.

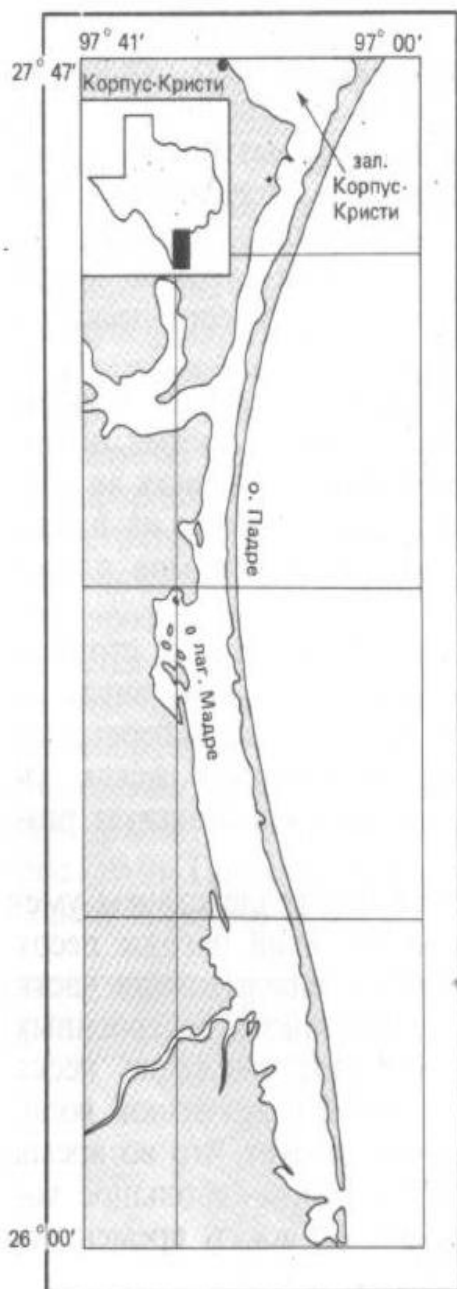


Рис.6.5. Барьерный остров Падре и отгороженная им лагуна Мадре на восточном побережье Мексиканского залива (Dickenson et al., 1972).

Значительная часть барьеров, вероятнее всего, обязана своим происхождением аккумулятивным образованиям типа кос, с их постепенным наращиванием вдольбереговыми течениями и прибоем. Но этим не исчерпывается их разнообразие.

В основании барьеров по всему Земному шару преобладают отложения с возрастом порядка 5-6 тыс. лет назад. Этот период соответствует времени начала максимума голоценовой трансгрессии, которая продолжалась примерно до 3.5 тыс. лет назад (по Фейбриджу, см. рис.5.16в).

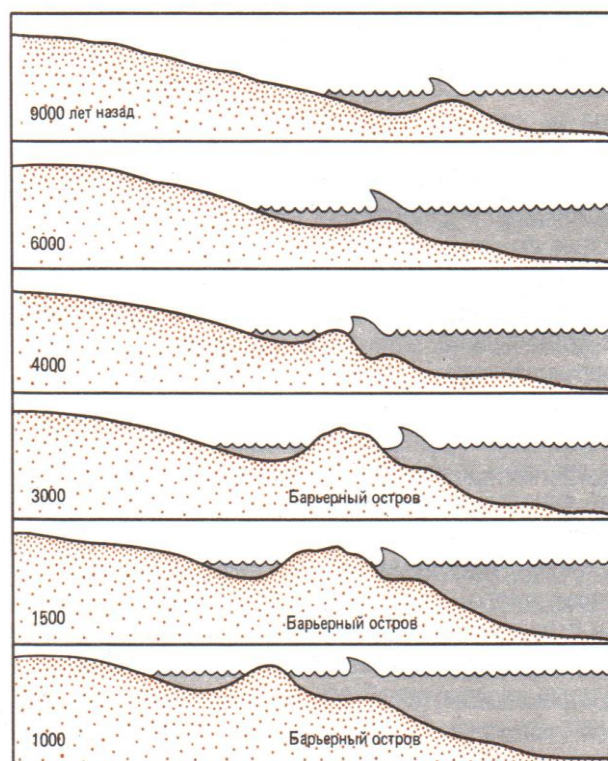


Рис.6.6. Развитие барьерного острова в ходе голоценовой трансгрессии. Около 3000 лет назад путем переработки больших масс прибрежных осадков стали формироваться современные барьерные острова (Dolan et al. 1980).

Повышение уровня Мирового океана в голоцене сопровождалось изостатическим прогибанием дна океана под воздействием дополнительной водной нагрузки. Это явление получило название *гидроизостазия*. При верхнеплейстоцен-голоценовом повышении уровня океана на 150 метров, гидроизостатическое опускание его дна в пределе должно составить 35-40 м. Но гидроизостазия запаздывает по отношению к изменениям уровня океана. В период максимума голоценовой трансгрессии (5-6 тыс. л. н.) повышение уровня океана практически прекратилось. За счет продолжающейся гидроизостатического погружения дна океана получила развитие верхнеголоценовая регрессия на величину порядка 4-5 м.

При этом подводные вдольбереговые бары во многих случаях оказались вблизи уровня океана и даже выше него, и, за счет деятельности вдольбереговых течений и воздействия волн, постепенно наращивались, превратившись, в конечном итоге, в аккумулятивные барьеры.

Некоторая часть барьеров, по-видимому, образовалась в ходе голоценовой трансгрессии в результате постепенной миграции аккумулятивных тел типа подводных вдольбереговых баров из шельфовой зоны в сторону берега (рис.6.6).

Барьерные острова, отделяющие лагуны от открытого моря, довольно часто оказываются весьма динамичными образованиями. Некоторые из них постепенно увеличиваются в размерах за счет обломочного материала, переносимого вдольбереговыми течениями и перемещаемого в сторону берега морскими волнами. Другие, напротив, под действием морских волн и течений постепенно размываются и площадь их сокращается. Выявление закономерностей роста и деградации барьерных островов – важная прикладная проблема, поскольку территории многих из них в настоящее время широко используются в хозяйственной деятельности ряда стран.