

## 6.2. Типизация и характеристика морских опасных природных явлений. Абразия морских берегов и ветровой нагон. Цунами

Рассмотрим ряд морских гидрологических опасных явлений (тропические циклоны (тайфуны), сильное волнение, сильное колебание уровня моря, сильный тягун в портах, ранний ледяной покров и припай, напор льдов, непроходимый (труднопроходимый) лёд, обледенение судов и портовых сооружений, отрыв прибрежных льдов) наиболее опасное морское гидрологическое явление природного происхождения – цунами, что в переводе с японского языка, означает «высокая волна в заливе».

**Абразия** (от лат. «абразо» — брeю, соскабливаю) — разрушение морских берегов волнами, прибоем и течениями. Основную разрушительную работу совершает прибой и в меньшей мере различные течения (прибрежные, донные), а также приливы и отливы. Морская абразия изменяет очертания береговой линии и отодвигает ее в сторону суши (рис. 6.3).

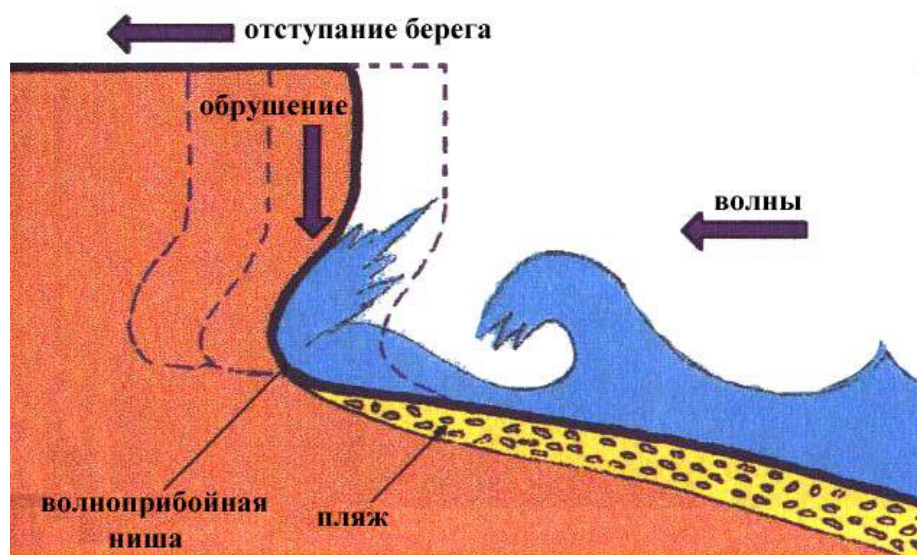


Рис. 6.3. Схема образования морской абразии

Абразионная деятельность моря представляет значительную угрозу для различных сооружений, расположенных на прибрежных территориях (жилых и промышленных зданий, железных и автомобильных дорог и т. д.) (рис. 6.4). Морская абразия сокращает полезную площадь приморских городов (Сочи, Одесса, Ялта и др.), активизирует развитие опасных геологических процессов (оползней, обвалов и др.).



Рис. 6.4. Абразионная деятельность на сооружение

Интенсивность абразии морских берегов зависит от многих факторов, среди которых важнейшие:

- ударная сила волн. Во время сильных штормов высота волн может достигать 15—20 м и более, а сила удара 10—30 т/м<sup>2</sup>. Удары штормовых волн у берегов Испании и Франции регистрируются сейсмическими станциями ФРГ и Швейцарии;

- литологический состав, строение и состояние горных пород. Больше всего подвержены разрушению рыхлые песчано-глинистые породы, а также сильнотрещиноватые выветренные скальные породы, особенно при падении их в сторону моря;

- высота и крутизна берегового склона; интенсивность абразии при прочих равных условиях значительно больше в случае высоких обрывистых берегов;

- современные тектонические колебательные движения; абразия усиливается при повышении уровня моря (трансгрессия). Отступление моря (регрессия) ослабляет абразию.

Известную роль в развитии морской абразии играют приливы и отливы, а также морские береговые течения, регулирующие накопление обломочного материала вдоль береговой линии.

Морфология морского берега. В типичном профиле побережья моря в верхней части берегового склона выделяют отвесный береговой уступ (клиф), образующийся в результате обрушения волноприбойной ниши (см. рис. 6.3). В нижней части уступа начинает формироваться новая волноприбойная ниша, над которой в определенный момент вновь обрушиваются горные породы. Уступ в результате этих процессов постепенно отступает в сторону суши, оставляя за собой слабонаклоненную к морю подводную абразионную террасу (бенч).

Полоса между береговым уступом и террасой, полого спускающаяся в сторону моря и сложенная галькой, гравием или песком, называется пляжем. В период шторма пляж заливается волнами. К абразионной террасе в зоне

моря примыкает аккумулятивная терраса, на которую сносится и откладывается рыхлый материал.

Геологическая работа моря — это не только разрушение береговой зоны, но и накопление (аккумуляция) продуктов разрушения. Береговые осадки накапливаются в форме пляжей, аккумулятивных террас, береговых валов, песчаных кос и других аккумулятивных форм рельефа. Со строительной точки зрения они могут вызывать определенные трудности (заиление и др.) при эксплуатации приморских гидротехнических сооружений. С другой стороны, пляжевые накопления, узкой полосой протягивающиеся вдоль морского берега, являются лучшей его природной защитой от разрушения.

Основная задача инженерно-геологических изысканий для обоснования строительства в районах активной абразионной деятельности моря — детальное изучение геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностей прибрежной территории, волно-ветрового режима моря и других факторов и оценка их роли в изменении береговой линии.

Мероприятия по борьбе с морской абразией. Выше уже отмечалось, что важнейшим условием, предотвращающим разрушения морского берега от волнового воздействия, является сохранение пляжа. При наличии пляжа достаточной ширины (более 20 м) энергия штормовых волн практически полностью гасится в его пределах. Практика показывает, что это условие нередко не выполняется, в частности происходит изъятие песчаного и гравийно-галечного материала пляжей для строительных целей. Например, в недалеком прошлом на отрезке протяженностью 100 км между городами Туапсе и Адлером за год на пляж из горных рек поступило 170 тыс. м<sup>3</sup> гальки, а потери составляли 320 тыс. м<sup>3</sup> (изъятие галечника для строительства).

Ослабляют процессы формирования пляжа и другие причины, пример, неправильное заложение портовых и берегоукрепительных сооружений, изменяющих установившиеся пути движения морских донных осадков.

Важнейшей задачей в борьбе с абразией морского берега является возведение защитных инженерных сооружений: пассивных и активных.

К пассивным относятся берегоукрепительные сооружения, которые принимают удары морских волн на себя и временно задерживают разрушение берега (волноотбойные стены, набережные, каменные наброски, прямые и ступенчатые откосные сооружения, волногасящие бермы из фигурных массивов и т. д.).

Эти сооружения, как правило, недолговечны, в особенности на крутых берегах. Например, имеются примеры разрушения набережных через 8—10 лет после их возведения.

В состав берегозащитных сооружений активного типа входят сооружения, которые служат не только для гашения энергии волн, но и для накопления и удерживания наносов, слагающих пляж. С их помощью человек активно вмешивается в берегоформирующие процессы. Главнейшие представители пляжеудерживающих сооружений — буны и подводные волноломы.

Буны — поперечные бетонные массивы, дамбы из каменной наброски и др., устанавливаемые под прямым углом к линии берега. Их назначение — прервать вдольбереговое перемещение наносов и способствовать их накоплению на берегу. За счет этого образуется (или стабилизируется) пляж необходимой ширины. Расстояние между бунами принимается равным не менее одной длины буны.

Волноломы — это дамбы из каменной наброски или массивы бетона, которые, в отличие от бун, создают параллельно защищаемому берегу на расстоянии 30-40 м от него и на глубине от 2-4 м. В необходимых случаях устраивают несколько параллельных рядов волноломов. Их назначение формировать и удерживать пляжевые наносы.

В настоящее время общей тенденцией морской берегозащиты является переход к комплексной инженерной защите морского берега сочетающей одновременное возведение бун, волноломов, волноотбойных стен, а также периодическую подсыпку пляжей песчано-щебенистым материалом. Обязательны профилактические меры, например, регулирование стока рек, впадающих в море, для увеличения объема наносов, сохранение естественного дернового покрова, деревьев и кустарников в береговой полосе, примыкающей к пляжу другим берегозащитным сооружениям.

**Нагонные наводнения** возникают на приморских территориях при прохождении глубоких циклонов, особенно ураганов (тайфунов). Нагон воды представляет собой подъем уровня, вызванный воздействием ветра на водную поверхность (рис. 6.5). Нагоны, приводящие к наводнениям, случаются в морских устьях крупных рек, на больших озерах и водохранилищах. Нагон возникает на наветренном берегу водоема за счет касательного напряжения на плоскости раздела вода–воздух. Вовлекаемые ветром в движение в сторону наветренного берега, поверхностные слои воды испытывают лишь сопротивление нижних слоев воды. С образованием уклона водной поверхности, под действием силы тяжести нижние слои начинают двигаться в противоположном направлении, уже испытывая гораздо большее сопротивление шероховатости дна. Из-за неравенства расходов воды, движущейся в противоположных направлениях, возникает подъем уровня у наветренного берега водоема и спад у подветренного.

**Ветровой нагон** (так же, как половодье, паводок, затор, зажор) является стихийным (особо опасным) гидрологическим явлением. Главным условием возникновения нагонных наводнений является сильный и продолжительный ветер. Основной характеристикой, по которой можно судить о величине нагона, является нагонный подъем уровня воды, выражающийся в метрах.



Рис. 6.5. Нагонные наводнения

Другими величинами, характеризующими нагон, являются глубина распространения нагонной волны, площадь затопления, продолжительность затопления. На величину нагонного уровня в морских устьях рек влияют скорость и направление ветра. Для каждой конкретной местности, подверженной нагонным наводнениям, можно определить направление ветра над водоемом, при котором нагонные явления будут максимальными.

Общим для морских устьев рек является то, что нагон может совпасть по времени с приливом или отливом; соответственно он будет либо несколько большим, либо меньшим. Нагонная волна распространяется вверх по реке тем на большее расстояние, чем меньше уклон и больше глубина реки. Продолжительность затопления составляет от нескольких часов до нескольких суток. На величину подъема нагонного уровня крупных водоемов влияют:

- скорость, направление ветра;
- длина разгона ветра над водоемом;
- средняя глубина водоема по длине разгона;
- величина и конфигурация водоема.

Чем крупнее водоем, меньше его глубина, чем ближе его конфигурация к кругу или эллипсу, тем больших размеров достигают нагоны и стоны воды. Основными характеристиками последствий от нагонных наводнений являются практически те же характеристики, что и при паводковых наводнениях.

Нагонные наводнения обусловлены: барическим поднятием уровня моря (до 1 м, редко до 2,5 м); длинными волнами, обусловленными собственно нагоном (высота до 8–12 м); ветровыми короткими волнами. В итоге уровень воды может надолго подняться над нормальным на 4–5 м на Охотском побережье, на 6–8 м на атлантическом побережье Сев. Америки, на 8–10 м в Японии, на 12–13 м в Австралии. В областях воздействия среднеширотных циклонов высота нагонных наводнений не превышает 3–4 м. При этом гребни



волн поднимаются еще выше – до 40–50 м над штилевым уровнем моря в Японии, Бангладеш и на берегах Сев. Атлантики (Массачусетс, США; Британские острова), до 30 м на о. Тайвань. Передняя волна нагона часто идет как «стена воды» высотой в несколько метров, опережая максимум скорости ветра на время до получаса. Вправо и влево от центра циклона расходятся более низкие боковые волны, достигающие берегов часто еще при безветрии. Высота нагона и гребней волн зависят от топографии прибрежной полосы. Максимальный уровень нагона держится недолго, иногда лишь 10–20 мин, затем несколько более низкий – до 10 ч. Продолжительность полного снижения уровня к норме определяется окончанием урагана и равна 1–1,5 суток, редко до 4 суток.

**Цунами** – длинные морские волны, которые могут возникать в результате подводных землетрясений, а также вулканических извержений или оползней на морском дне. Кроме того, цунами возможны при обрушении берегов. Источник цунами – место на дне океана, где произошло подводное землетрясение, оползень или извержение вулкана.

Для образования волны цунами необходимо вертикальное смещение морского дна, хотя выявлено и много случаев возникновения цунами при эпицентре толчка на суше (рис. 6.6). Морские волны могут возникать также в результате прохождения поверхностных волн через мелководный континентальный шельф или, возможно, вдоль подводного каньона. Цунами возникают, как правило, при подводных землетрясениях с магнитудой более 7. Энергия цунами обычно составляет 1–10% энергии вызвавших их землетрясений.

Образовавшись в каком-либо месте, цунами может пройти несколько тысяч километров, почти не уменьшаясь. Высота волн цунами – от нескольких сантиметров до нескольких метров. Однако, достигнув мелководья, волна резко замедляется, ее фронт вздымается и обрушивается с огромной силой на сушу (рис. 6.7). Над отмелями волна тормозится до скорости порой лишь 50 км/ч, её высота увеличивается до 10–20 м, фронт разворачивается параллельно берегу. Высота крупных волн у побережья составляет 5–20 м, иногда и 40 м, вулканогенных – до 100 м. В узких заливах происходит дальнейший рост волны. Волна цунами может быть не единственной, очень часто это серия волн с интервалом в 1 ч и более. Самая высокая волна называется главной волной. Часто перед началом цунами вода отступает далеко от береговой линии. Наибольшей высотой обычно обладает не первая волна, но одна из первых десяти. Суммарная продолжительность их накатывания на берег может достигать нескольких часов. Разрушительные воздействия цунами складываются из подъёмной силы воды, давления водного потока, ударов влекомого материала.

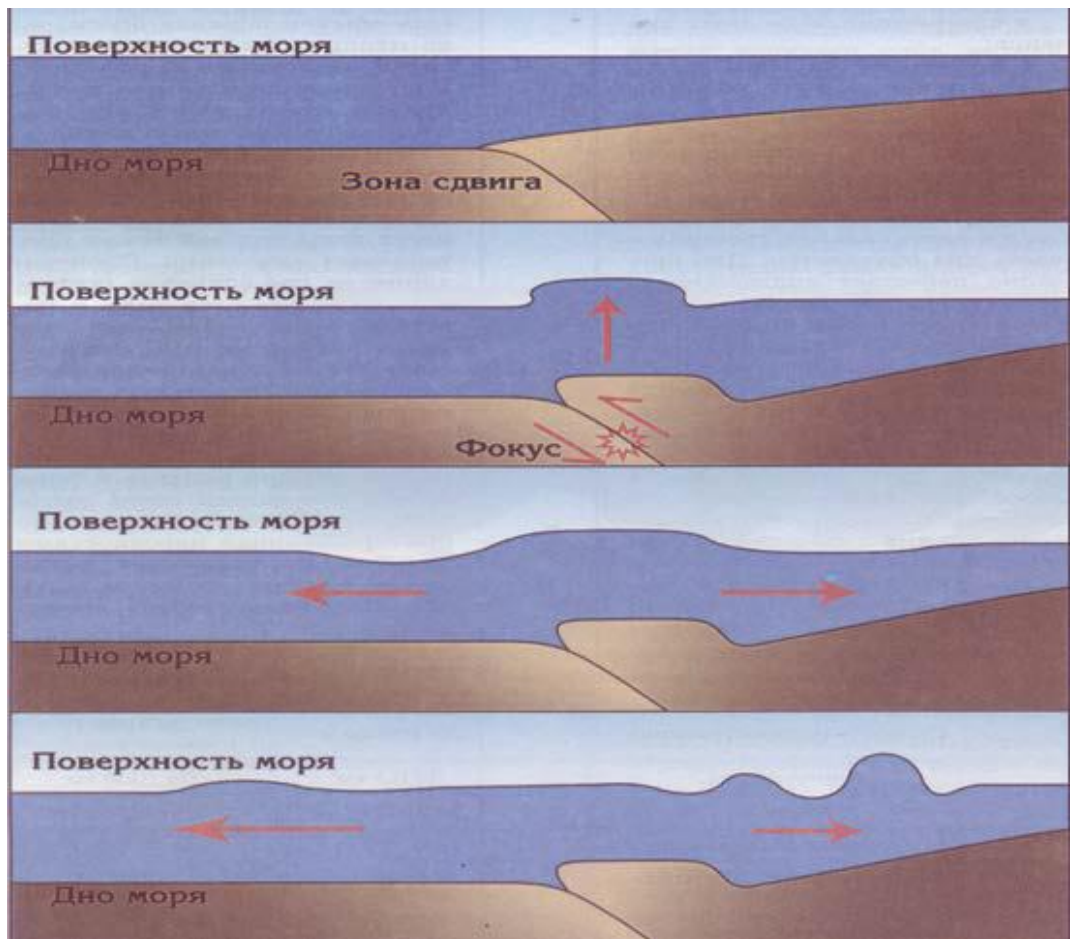


Рис. 6.6. Механизм образования волны цунами

Основными характеристиками цунами являются: магнитуда; интенсивность на конкретном побережье; скорость движения волны.

За магнитуду цунами принят натуральный логарифм амплитуды колебаний уровня воды (в метрах), измеренный стандартным мореграфом у береговой линии на расстоянии от 3 до 10 км от источника цунами.

Интенсивность цунами приблизительно равна натуральному логарифму от высоты (в метрах) подъема воды при цунами на конкретном участке побережья. Интенсивность цунами характеризует энергию, выделившуюся в конкретной точке, которая находится на любом расстоянии от источника.

Сейсмогенные цунами в области возникновения имеют высоту в немногие дециметры, редко до 5 м. Скорость движения волны цунами определяет время добегания волны от источника до любого побережья и, в зависимости от глубины моря, может быть от 100 до 1000 км/ч.

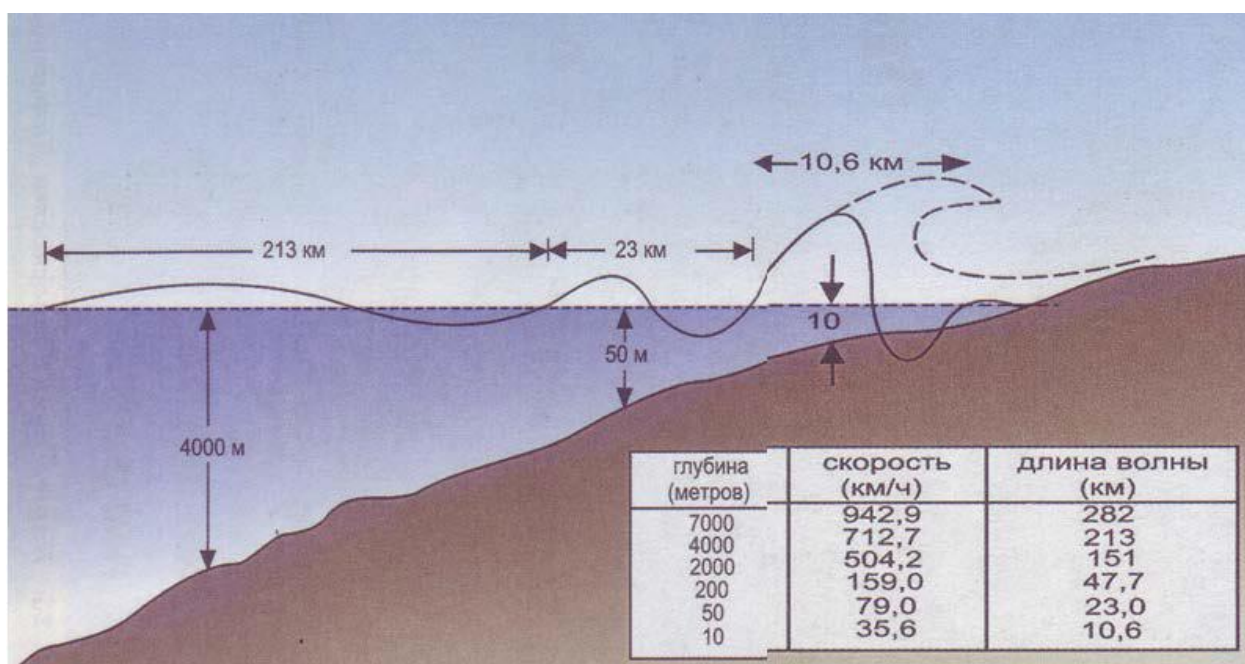


Рис. 6.7. Распространение волн цунами

Для характеристики опасности цунами принимается шкала интенсивности К. Ииды и А. Имамуры:

*0 баллов* – слабое цунами. Высота волны до 1 м. Повторяемость в мире – несколько раз в год;

*1 балл* – умеренное цунами. Высота волны до 2 м. Заметное затопление плоских берегов. Повреждения легких построек. Лодки и легкие суда прибывают к берегу. Повторяемость – дважды в год;

*2 балла* – сильное цунами. Высота волн 2–4 м, максимальная – до 6 м. В прибрежной полосе длиной в десятки км – частичное разрушение легких и повреждение прочных зданий, повреждение набережных. Легкие суда выбрасываются на берег или уносятся в море. Побережье покрывается плавучими обломками. Значительное число жертв. Повторяемость – раз в год;

*3 балла* – очень сильное цунами. Средняя высота волн 4–8 м, максимальная до 10–20 м. В прибрежной полосе длиной до 400 км – полное разрушение легких и значительное повреждение прочных зданий, сильный смыв почв с полей. Повреждение всех судов, кроме самых больших. Много жертв. Повторяемость – раз в 2 года;

*4 балла* – разрушительное цунами. Средняя высота волн 8–16 м, максимальная – до 30 м. В прибрежной полосе длиной 500 км – сильное повреждение или разрушение всех построек, уничтожение садов. Сильное повреждение крупнейших судов. Много жертв. Повторяемость приблизительно раз в 10 лет.

В последние 50 лет в мире отмечено 70, в последние 180 лет – около 170 сейсмогенных цунами опасных размеров, из них 4% в Средиземном море, 8% в Атлантике, остальные – в Тихом океане. Наиболее опасны берега Японии, Гавайских и Алеутских островов, Камчатки, Курил, Аляски, Канады, Соломоновых островов, Филиппин, Индонезии, Чили, Перу, Новой Зеландии, Эгейского, Адриатического и Ионического морей. Разовый прямой



экономический ущерб измеряется десятками миллионов долларов. В пределах же вероятен ущерб до 1 млрд. долл. По этому показателю цунами находятся в конце первого десятка природных чрезвычайных ситуаций.

### Прогнозирование цунами

Волны цунами – одно из стихийных явлений в океане, представляющее опасность для населения и хозяйства прибрежной полосы суши в цунами опасных районах. В 95% случаев цунами возникают вследствие достаточно сильных землетрясений под дном океана (моря). Поэтому сам факт регистрации подобного землетрясения уже несет информацию о возможных волнах цунами. Более детальная обработка сейсмических данных о землетрясении позволяет определить координаты его эпицентра и магнитуду, а также ряд дополнительных критериев, позволяющих судить о цунами опасности землетрясения, т. е. его способности вызвать опасную, высотой у берега более одного метра, волну цунами. Между моментами начала регистрации землетрясения и прихода волны к берегу всегда есть пауза, которая составляет от нескольких минут до суток. Наличие этой паузы дает возможность предупредить населенные пункты о надвигающейся опасности и осуществить мероприятия по предотвращению возможного ущерба на берегу. В настоящее время в цунами опасных регионах развернута и функционирует служба предупреждения о цунами. В основу работы этой службы положено использование не только данных сейсмических наблюдений, но и данных прямых наблюдений за состоянием поверхности океана на достаточном расстоянии от берега с помощью гидрофизических станций.

### Мероприятия по уменьшению последствий цунами

Сочетание прогнозирования, заблаговременных административных и защитных мероприятий, как показывает практика, ведет к резкому снижению человеческих жертв и материального ущерба от последствий цунами. В затопляемой зоне запрещается новое строительство, не вызванное производственной необходимостью, а также производится перенос в безопасные места существующих зданий и сооружений. Для защиты от цунами бухт и устьев рек в них строят волноломы, а на берегу – дамбы и другие защитные сооружения. Посадка по побережью лесозащитных полос является эффективным средством борьбы с цунами. Единственным средством защиты населения от цунами является эвакуация из прибрежной и возможно затопляемой зон. Поэтому население должно знать сигналы оповещения, признаки предупреждения о цунами, а также маршруты эвакуации. Необходимо оставаться в безопасном месте до получения сигнала отбоя опасности цунами. Так как цунами могут сопровождаться сильным наводнением, то необходимо соблюдать меры защиты, характерные для обычного наводнения.

## **Контрольные вопросы**

1. Цунами и их основные характеристики.