

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Одеський Державний Екологічний Університет

О.О. Даниленко

ГІДРОГРАФІЯ ШЕЛЬФОВОЇ ЗОНИ  
(конспект лекцій)

Одеса - 2009

ББК 26.221

Д 17

УДК 551.468.2

Друкується за рішенням Методичної ради Одеського

Державного Екологічного Університету

(протокол № від )

Даниленко О.О. "Гідрографія шельфової зони"

У конспекті лекцій розглядаються характеристики шельфової зони, особливості прояву гідрологічних процесів і їхній вплив на гідрографічні умови й гідротехнічні споруди. Обговорюються проблеми захисту морських акваторій і каналів шляхом регулювання режиму хвилювання й руху наносів. Розрахований на студентів - гідрографів старших курсів денної й заочної форми навчання.

© Даниленко О.О., 2009

© Одеський Державний

Екологічний Університет, 2009

## ЗМІСТ

	Стор.
ВВЕДЕННЯ .....	4
1. ПОНЯТТЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ШЕЛЬФУ .....	5
1.1. Типи шельфів .....	6
1.2. Шельф у геологічному уявленні.....	7
1.3. Морфометричні характеристики шельфу .....	7
2. ТРАНСПОРТ НАНОСІВ У ШЕЛЬФОВУ ЗОНУ .....	9
3. ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ШЕЛЬФОВІЙ ЗОНІ І ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ГІДРОГРАФІЧНІ УМОВИ.....	12
3.1. Коливання рівня моря .....	12
3.2. Прибережна циркуляція вод .....	15
3.3. Вітрове хвилювання .....	17
4. ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ .....	19
4.1. Вплив морського льоду .....	19
4.2. Вплив вітрового хвилювання .....	21
4.3. Вплив коливань рівня моря .....	27
4.4. Вплив прибережних течій .....	30
4.5. Урахування рельєфу й геологічної будови дна .....	30
4.6. Вплив потоку наносів .....	31
4.7. Біопошкодження гідротехнічних споруд .....	34
5. ЗАХИСТ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ І КАНАЛІВ .....	45
5.1. Регулювання режиму хвилювання .....	45
5.2. Регулювання режиму руху наносів .....	47
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	50

## ВВЕДЕННЯ

Освоєння шельфів у цей час характеризується тим, що його умови й ресурси використовуються не вибірково, а в тісному взаємозв'язку різних сторін як об'єкта господарської, так і іншої діяльності людства. Разом з інтенсивним освоєнням мінеральних багатств розширюється експлуатація біологічних ресурсів, посилюється використання моря як транспортної артерії, як місця відпочинку людей, туризму й т.д. Комплексність диктує необхідність всебічного підходу до проведення робіт на шельфі.

Масштаби освоєння шельфів змушують строго враховувати можливі наслідки діяльності людей. З ряду причин соціально - економічного, науково - технічного, політичного характеру вплив людства на природу настільки зріс, що без ґрунтового наукового підходу до подальшого освоєння природних ресурсів не можна безконтрольно, без огляду на наслідки, втручатися в природний хід процесів.

Формування наукового підходу можливо тільки при наявності відповідної інформації про стан об'єкту і про процеси, які у ньому відбуваються

У представленому конспекті лекцій розглядаються характеристики шельфової зони, особливості проявів гідрологічних процесів і їхній вплив на гідрографічні умови й гідротехнічні споруди. Розглядаються питання транспорту наносів і їхнього відкладення, а також захисту морських акваторій і каналів.

## 1 ПОНЯТТЯ Й ВИЗНАЧЕННЯ ШЕЛЬФУ

Шельф, або материкова обмілина, являє собою підводну рівнину навколо материків, що простирається від берегової лінії (при низькому стоянні води під час відливу) до глибини, на якій відзначається різке збільшення крутизни. Звичайно шельф має невеликий ухил ( $0^{\circ}07' - 0^{\circ}08'$ ). На межі, де шельф переходить у материковий схил, уклін різко зростає, і це є зовнішній край шельфу. Такий різкий перегин поперечного профілю дна іноді спостерігається на порівняно більших глибинах. Наприклад, майже все дно Охотського моря повинне бути віднесене до шельфу, хоча зовнішній край шельфу лежить на глибинах біля 2-х тис. метрів.

Глибина розташування зовнішньої межі шельфу в різних районах підводних окраїн материків буде неоднаковою, і вирішувати питання про межу шельфу треба в кожному конкретному випадку окремо, виходячи з морфології й геологічної будови морського дна. Умовно межа шельфу часто визначається за ізобатою 200 метрів.

У геоморфологічному відношенні шельф - це продовження прибережних материкових рівнин. Простори шельфу ще недавно були сушею й зберігають безліч форм реліктового субаерального рельєфу. Це різні льодовикові утворення в місцях четвертинного заледеніння, затоплені річкові долини, структурно - денудаційні форми - типу куэст, (з іспанської - гірський схил; асиметричні гряди й уступи в рельєфі, які утворюються внаслідок розмиву нахилених в один бік шарів гірських порід) або глинта, (з естонської - крутий уступ плато, розташований уздовж південного берега Фінської затоки до Ладожського озера, : утворений вапняками, і найбільш повно представлений на території Естонії, де його висота досягає 56м), і т.д.

Однак шельфи не завжди рівнинні утворення, вони можуть перетинатися жолобами, підводними височинами. Прийнято вважати зовнішньою межею шельфу останню зону перегину, якщо її глибина не більше 600м. Попередні перегини по міжнародній номенклатурі називаються уступами, а обмежені ними ділянки - терасами.

Утворення сучасних шельфів відбувалося під впливом зниження й підвищення рівня океану, рухів земної кори, тектонічних рухів та ін. Це обумовило істотні розходження в їхньому рельєфі, глибині зовнішнього краю, ширині самого шельфу [1].

## 1.1. Типи шельфів.

Існують різні класифікації шельфів: наприклад у Ф.Шеппарда [2] всі шельфи підрозділяються в такий спосіб.

Шельфи областей заледеніння, що мають поверхню зі слідами древнього заледеніння у вигляді гротів і внутрішніх западин, головним чином на внутрішній частині шельфу, що утворюють банки, що подекуди виходять на поверхню на зовнішньому боці шельфу.

Шельф Антарктиди. Ізостатичне підняття зовнішнього краю шельфу, що не осів, як весь материк, під вагою льоду, привело до того, що поверхня шельфу нахилена від перегину до материка на  $1^\circ$ .

Шельфи з паралельними грядами й западинами, що зустрічаються в районах високих широт, і що не піддавалися заледенінню, відрізняються відносно рівною поверхнею дна, невеликими подовженими грядами й западинами, розташованими паралельно берега й зовнішньої межі шельфу.

Рівні шельфи високих широт, подібні сибірським або аляскінським. Вони сильно згладжені, широкі й не дуже глибокі.

Шельфи, сформовані під дією сильних течій. Вони або зрізані течією, або течія не дозволяє акумулюватися опадам.

Шельфи тропічних морів – у їхніх межах зустрічаються великі мілководні банки з кораловими рифами. Інші, бідні на коралові рифи, звичайно несуть сліди четвертинних берегових ліній у вигляді терас, сліди систем древніх річкових долин льодовикового періоду.

Шельфи зі скелястими банками уздовж зовнішньої межі. Велика кількість з них піднімаються у вигляді островів. Цей тип шельфів виник як результат блокових рухів земної кори й частково в результаті ерозії островів, що існували уздовж межі шельфу, а також у результаті відкладення опадів в улоговинах, що зустрічаються біля берега.

Шельфи великих дельт. Їхня середня ширина у два рази перевищує ширину узбереж, що не мають дельт. Поява широких шельфів пояснюється опусканням древніх дельт, підвищенням рівня моря наприкінці останнього заледеніння.

## 1.2. Шельф у геологічному уявленні.

У геологічному відношенні шельф представляється безпосереднім продовженням материкових платформ. Спостерігається повна ідентичність геологічної будови шельфу й прилягаючих до моря просторів суші. По геологічній будові шельфи діляться на два головних типи: складені осадовими породами й складені магматичними й метаморфічними породами. Переважна частина шельфів відноситься до першого типу. Оскільки опадоутворення сильно розрізняється залежно від характеру порід, що осаджуються, кліматичних умов і гідрологічного режиму, у геології використовується більш детальна класифікація типів шельфів [1].

Геофізичні особливості шельфів зв'язані як з породами, що їх складають, так і з рельєфом. Біля самого берега аномалії сили ваги близькі до нуля, а до зовнішнього краю шельфу збільшуються до +100 мілігал. У межах материкового схилу відбувається їхнє подальше збільшення до +300 мілігал. Ізоаномали паралельні ізобатам материкового схилу. На краю шельфу відбувається найбільша зміна горизонтального градієнта сили ваги.

Магнітне поле Землі в перегині дна на зовнішньому краї шельфу характеризується так званим ефектом межі, тобто аномаліями, викликаними сусідством різнопородних структур.

Геофізики простежують деякий зв'язок між положенням зовнішнього краю шельфу й розподілом потоків тепла з дна океану (геотермальних потоків).

## 1.3. Морфометричні характеристики шельфу.

Середня ширина шельфу близько 65км, але може коливатися від кілометра і менш, до 1000 - 1500км, (наприклад, у Баренцевому морі шельф простягається більш ніж на 1100км ). Середня глибина 130м, і середні глибини різко коливаються - у Баренцевому морі вони становлять 229м, а у Східно-Сибірському - 58м.

По даним [1] весь шельф займає 26.6млн.км<sup>2</sup>, тобто 7.4% поверхні Світового океану (за даними В.Н.Степанова, площа шельфу, якщо вважати його межею ізобату 200м, дорівнює 27.5млн.км<sup>2</sup>, що становить 7.6% загальної поверхні дна океану). Стосовно площі океанів (без морів) їхня

частка знизиться до 3% (9.8 млн.км<sup>2</sup>). У морях площа шельфів становить 50.6% їхньої поверхні, (17.6млн.км<sup>2</sup>). 20% площі шельфу Світового океану перебуває в межах Північного Льодовитого океану. Найменший і самого мілководний з океанів - Північний Льодовитий - має самі широкі шельфи, що займають одну третину дна океану. Найменша ширина й площа шельфу - в Індійському океані.

Шельф неоднаково розподілений по півкулях. У північній, де площа океану становить 154.8млн.км<sup>2</sup>, шельф займає 12.1% водної поверхні, (18.7млн.км<sup>2</sup>). У південній, більш океанічній півкулі, де поверхня океану становить 206.4млн.км<sup>2</sup>, шельф займає тільки 3.9% акваторії, (8.0млн.км<sup>2</sup>). Найбільший по площі шельф має Євразійський материк – 10 млн.км<sup>2</sup>, у тому числі 3млн.км<sup>2</sup> займають шельфи полярних морів, 2.6млн.км<sup>2</sup> – Північна й Західна Європа. Близько 4.5млн.км<sup>2</sup> шельфу розташовано уздовж Тихоокеанського узбережжя й островів Індонезії. На Атлантичному узбережжі Північної Америки шельф займає понад 1млн.км<sup>2</sup>, на східному узбережжі Південної Америки – майже 2млн.км<sup>2</sup>, (Патагонський шельф, що йде уздовж берегів Південної Америки до Фолклендських островів, займає близько 1млн.км<sup>2</sup>). Значні шельфи біля берегів Австралії, Нової Зеландії й Тасманії, (більше 2млн.км<sup>2</sup>). Уздовж Африканського материка шельф невеликий: на західному узбережжі він займає 0.6млн.км<sup>2</sup>, на східному, (включаючи Червоне море) – 0.4млн.км<sup>2</sup>. Зовсім незначний шельф біля Тихоокеанського узбережжя Південної Америки, (0.2млн.км<sup>2</sup>) [1].



## 2 ТРАНСПОРТ НАНОСІВ У ШЕЛЬФОВУ ЗОНУ

Прибережна й шельфова зона є областями земної кулі, де відбувається найбільш інтенсивне відкладення й перерозподіл наносів. За образним висловом [3] морські гирлові області являють собою саму потужну "пастку" наносів (у порівнянні з пастками на суші).

На підході до гирла ріка сповільнює свій плин, у результаті тут починається відкладення наносів. Але основна частина наносів і розчинених речовин осідає на дно океану. Усього за рік товща наносів на дні моря в гирлових ділянках може зростати на сантиметри й десятки сантиметрів, тобто в тисячі й десятки тисяч разів швидше, ніж у середньому в океані.

Зважені наноси ріки попадають у море відразу у дві пастки - механічну й геохімічну. Механічних причин прискореного нагромадження наносів поблизу гирла декілька: крім уповільнення плину, коли за законом Ері, більш важкі частки починають випадати в осад, діє ще й припливна циркуляція, що не дозволяє суспензіям іти у відкритий океан, і так зване рідке дно- нахилена від берега поверхня більш щільної морської води, яка відтиснута менш щільною річковою водою, По поверхні такого "рідкого дна" суспензії скочуються убік берега.

Фронт зустрічі прісної й морської води утворює потужний геохімічний бар'єр, який переборює тільки невелика частина наносів, що виносяться ріками. На цьому бар'єрі відбувається коагуляція й флокуляція, тобто злипання часток у круглі пластівці - флокули. Вони швидко осідають на дно, тому що швидкість осідання часток суспензії прямо пропорційна квадрату їхнього радіуса.

У результаті роботи механічної й геохімічної пасток товщі опадів в гирлах рік накопичуються з великою швидкістю, найвищою на нашій планеті. Тому товща опадів в гирлах рік місцями досягає 10- 15км. Під вагою цієї товщі прогинається земна кора, а в нижніх її шарах, в умовах високого тиску й температури, відбуваються складні хімічні процеси.

Ці відкладення також нарощують сушу, відвойовуючи частину площі в океану. Такі алювіальні низовини є на всіх континентах. Якщо континентальний шельф відсутній, наноси поринають на дно затопленої ділянки річкової долини, врізаної під час низького стояння рівня моря, а потім рухаються у вигляді суцільної маси униз по руслу, еродуючи й

поглиблюючи його. Такі ділянки діяльних мутьєвих потоків можна зустріти в місці впадання рік Конго й Магдалени в океан. Більшість інших рік відкладають наноси на мілководний континентальний шельф.

Під час штормів відбувається взмучення наносів, які знаходяться на дні моря. Ступінь взмучення залежить від тривалості шторму, глибини води й характеру наносів. Коли зважені частки знову осідають на дно, вони за рахунок особливостей гирлової циркуляції переносяться убік берега й накопичуються біля нього. Тому вузькі протоки й затоки діють як пастки наносів. Іноді така пастка проривається, і частина наносів спрямовується на шельф і переноситься потім вверх - униз по ньому, поки знову не потрапить у пастку або не зісковзне в глибини.

Якщо швидкість надходження наносів мала в порівнянні з можливостями їхнього транспортування сильними вздовжбереговими й припливними течіями, то безпосереднього скупчення наносів у результаті принесення з річковими водами майже не утворюється. З іншого боку, у районах зі слабкими припливами й повільними вздовжбереговими плинами в прибережній зоні на шельфі накопичуються наноси річкового походження, і утворюється так звана дельта (за назвою грецької букви  $\Delta$ , на яку схожа дельта ріки Нил у плані). У Середземному, Чорному й Балтійському морях, у Мексиканській затоці, у Північному Льодовитому океані й деяких районах Північного моря, припливи незначні, і пов'язані з ними коливання рівня моря, у більшості випадків, практично непомітні. Тому навантажені наносами річкові води, які вливаються в ці водойми, відкладають свою ношу на континентальних шельфах, утворюючи дельти. Великими дельтами славляться ріки: Міссісіпі, Макензі, Лена, Нева, Рона, По, Нил, Дунай і Рейн.

Будова дельти досить складна, а її активно наростаюча зовнішня частина відрізняється мінливістю конфігурації. При більших витратах води в ріці можуть виникати нові русла, а старі відрізатися. У більшості дельт існує система рукавів, по яких проходить частина річкових наносів і стоку. В устях рукавів відбувається відкладення наносів і утворюються свої невеликі дельти, які в сукупності становлять дельту ріки як таку.

Коли дельта утворюється на шельфі, її зовнішня частина повинна, зрештою, досягти межі шельфу або, якщо шельф не має виразного перегину, ділянки де швидко збільшується нахил. Тут, якщо його потривожити, шар відкладень може зміститися униз по схилу. Тоді потік наносів почне сповзати

униз по підводних каньйонах або обрушуватися подібно лавинам, створюючи товщу відкладень уздовж континентального схилу й підніжжя; частина їх проникає ще далі, аж до абісальної рівнини. Вважається, що такі потоки наносів поводяться подібно мутьєвим потокам.

В укритих районах узбережжя, на яких не позначається дія хвиль, утворюються марші. Вони мають важливе значення для життєвого циклу багатьох морських організмів. Марші з'являються в устях багатьох рік, захищених від океану косами, і в лагунах за бар'єрними островами. Очевидно, сольові марші широко поширилися в результаті підйому рівня моря по закінченні останнього заледеніння. Марші розташовуються у внутрішніх, вилучених від узбережжя частинах лагуни на ґрунтах, які укріплюються, в результаті скупчення наносів у травах, що переплітаються, і коріннях болотної рослинності. З підйомом рівня моря товща ґрунту в них накопичується, і її поверхня також піднімається. Марші є свого роду реєстраторами змін умов у прибережній зоні.

Географічно пастками – накопичувачами наносів, переважно континентального походження, є крайові й внутрішні моря. Так, у Беринговому морі, типовому крайовому, товща відкладень досягає 3–10 км, а в Чорному й Каспійському, типових внутрішніх морях, – відповідно 4–8 і 10 км. Самою гігантською пасткою на Землі є гирла Гангу й Брахмапутри, де обсяг наносів становить  $5 \cdot 10^6 \text{ км}^3$ , що в 10 разів більше обсягу Чорного моря.

Але в океані відбувається не тільки відкладення наносів а і їхній активний перерозподіл. Активні процеси ерозії йдуть у хвилеприбійній зоні на границі суші й моря, на дні донні плини розмивають відкладення наносів, а на материковому схилі часті справжні катаклізми, коли із крутих схилів зриваються величезні маси наносів, що рухаються по підводних каньйонах.

Таких масштабів швидкого переміщення на великі відстані пухкого матеріалу, як в океані, на суші не спостерігається, і причина цьому – вода, що, насичуючи донні морські відкладення, позбавляє їх зчеплення й різко знижує тертя [3].

### 3 ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ШЕЛЬФОВІЙ ЗОНІ І ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ГІДРОГРАФІЧНІ УМОВИ

Поблизу берегів, на міліні всі відомі явища різко змінюють свої зовнішні ознаки й впливи на береги, дно, портові й гідротехнічні споруди, судна.

Наприклад, хвилі при підході до берега стають крутіше, їхня підошва гальмується об дно, вершина починає доганяти основу й хвиля обрушується, ударяючись багатотонним прибоєм у перешкоди, що зустрічаються на її шляху. Течії при підході до берега змінюють напрямок і швидкість, також змінюється глибина їхнього проникнення й потужність.

Поблизу берегів утворюються й нові природні феномени, викликані саме своєрідністю цього району як зони контакту суші, води й атмосфери. Це особливо сильно проявляється в обмежених акваторіях: затоках, бухтах, портах і гаванях. При цьому багато чого залежить і від діючих зовнішніх природних сил (припливу, вітру, атмосферного тиску), і від обрису берегів, і характеру розподілу глибин, і від резонансу. Дія багатьох непримітних факторів зростає до значень, при яких вони здатні сильно впливати на діяльність порту, судноплавство, навігаційну обстановку, умови стоянки й завантаження-розвантаження судів.

Поблизу берегів найбільше помітний і вплив господарської діяльності людини на природу. Будівництво портів і каналів, вилучення морського піску приводять до змін конфігурації берегів і дна. Великомасштабне втручання людини в режим річкового стоку веде до зміни умов існування гирл рік і цілих морів. Але ж саме в прибережних районах умови плавання природно найбільш ускладнені.

Розглянемо докладніше вплив деяких динамічних і гідрологічних факторів на гідрографічні умови в шельфовій (прибережній) зоні [4].

#### 3.1. Коливання рівня моря.

Приливні коливання рівня моря відносять до періодичних, і два рази в на добу хвиля океанського припливу піднімає й опускає рівень моря на

кілька метрів (залежно від району), заливаючи прибережні острівці й осушки, а потім відступає, оголюючи мілини й перекати, перешкоджаючи руху судів.

Амплітуда припливу в різних частинах океану різна: вона залежить від району моря, конфігурації узбережжя, глибини й інших факторів. Максимальна амплітуда припливу у Світовому океані - у затоці Фанді на східному березі Канади, де рівень води піднімається на висоту 19м.

Астрономічні причини таких періодичних коливань рівня непогано вивчені, і океанологи обчислюють величину припливу в багатьох пунктах Світового океану за будь-який термін часу наперед. Результати цих розрахунків щорічно публікуються у видаваних "Таблицях припливів".

Однак у практиці судноводіння нерідкі випадки, коли розраховані значення рівня води цілком достатні для проходу судів в акваторію порту, канал або гирло ріки, а фактичні глибини не дозволяють це зробити. Такі ж ситуації виникають і на неприливних морях, коли знятий з карти середній рівень відрізняється від реального в цей момент часу.

Як прийнято, рівень моря (або глибина місця) на навігаційній карті в морях із припливами відлічується від мінімального рівня в сизигію, а в неприливних морях - від середнього багаторічного рівня. Однак у конкретний момент часу на положення рівня моря впливає цілий ряд факторів. Зміна положення рівня моря відбувається внаслідок його так званих неперіодичних коливань, обумовлених різними проявами атмосферної діяльності.

Різноманітні прояви дії атмосфери приводять до різноманіття видів коливання рівня моря, які відносять до неперіодичного.

Сгінно – нагінні коливання рівня моря. Вони пов'язані з рухом води, що виникає у результаті так званого тангенціального тертя між повітряним потоком і водною поверхнею, обмеженою береговою рисою. Ця складова коливань рівня найбільш значна за абсолютним значенням.

Нагони води під дією штормового вітру не раз були причиною затоплення берегової риси Нідерландів, ФРН, Великобританії, Японії, США, Росії й інших країн.

Колівання рівня моря в мілководних портах порушують їхню роботу, а судна, що стоять біля причалів, одержують ушкодження. Найбільш великі вітрові коливання рівня води в мілководних морях, де вони становлять особливу небезпеку. Наприклад, в Азовському морі в жовтні 1969р. під дією

ураганного вітру біля південно - східного берега рівень води піднявся на 3м вище за середнє, у той же час біля північно - західного берега він упав на 2м.

Механізм виникнення й існування згону й нагону добре пояснюється в рамках теорії Екмана про дрейфові (вітрові) течії.

В.Екман вивів свою теорію для глибокого моря. У мілководних морях кут відхилення напрямку течії від напрямку вітру залежить від співвідношення глибини моря й глибини тертя, і тому може бути різним - у зовсім мілководних районах напрямок поверхневого плинуну збігається з напрямком вітру. Звідси ясно, що найбільший нагін у глибокому морі в північній півкулі буває при напрямку вітру паралельному береговій лінії, (беріг знаходиться праворуч щодо напрямку вітру), а в мілководному морі - при вітрі, спрямованому з моря на берег.

Але вітер викликає не тільки переміщення вод: його перший і найбільш ефектний наслідок - вітрове хвилювання. З'ясувалося, що в результаті хвилювання виникає також рух поверхневих вод по напрямку вітру - так званий хвильовий потік, або стоксовий плин (названий за ім'ям Джеймса Стокса, відомого англійського фізика й математика). Цей хвильовий потік накладається на дрейфовий плин (а на мілководді їхні напрямки збігаються) у такій мірі, що в окремих випадках приріст рівня води внаслідок стоксова потоку становить до 50% його загального перевищення.

Зміна атмосферного тиску. За відомим законом "зворотнього барометра" підвищення атмосферного тиску над морем на 1 мілібар приводить до зниження рівня води на 10 міліметрів, і навпаки. Цей закон діє по всій акваторії моря незалежно від глибини, рельєфу дна й т.п.

Ця складова коливань рівня повністю визначається баричними утвореннями й може досягати великих значень. Так, у південно-східній частині Баренцева моря зафіксовані нагінні підвищення рівня води на 0.6м.

Пряма дія закону "зворотнього барометра" справедлива лише тоді, коли баричне утворення стаціонує або повільно переміщується. При русі баричних систем зі значною швидкістю, як це часто буває в реальних умовах, зміни рівня води біля берегів перестає відповідати їхньому статичному значенню й, значнішу роль починають грати явища резонансу, тобто збігу швидкості переміщення циклона (антициклона) зі швидкостями руху води в морі.

Дія довгих хвиль. Як правило, ця складова є похідною від баричного ефекту. Найкращим прикладом служать повені на Неві. Сформована при переміщенні баричного утворення над Балтійським морем хвиля, залежно від місця й швидкості його виходу з акваторії, або переміщується уздовж моря, або дає поштовх формуванню сейші. Ця хвиля, проникаючи у вузьку й довгу Фінську затоку, під впливом форми затоки, вітру над ним і мілководдя, змінюється й при сприятливих умовах може підняти рівень води у вершині затоки на 5м.

Нерівномірність у процесі вологооберту також приводить до змін рівня. Багато дослідників оцінюють коливання рівня, викликані випаром, опадами, річковим стоком, утворенням і таненням льоду як незначні. Однак для деяких районів Світового океану це не так. У Червоному морі шар води, яка випаровується за рік, досягає 2.5м, а опади на східному березі півострова Індостан у середньому за рік становлять приблизно 13м. Більші підйоми рівня відбуваються поблизу гирл рік у період повені. Коливання рівня, пов'язані із цими процесами, є нетривалими (від декількох діб до декількох тижнів).

Колівання рівня, викликані зміною щільності води, носять довгостроковий характер. Встановлено, що неперіодичні коливання рівня моря на західному узбережжі США майже повністю залежать від щільності води у верхньому 500-метровому шарі. У цьому шарі відбувається зміна напрямків плинів, що приносять теплу й холодну воду, що призводить до підвищення або до зниження рівня, відповідно.

Як уже говорилося вище, різкі коливання рівня води в прибережних районах становлять серйозну небезпеку для мореплавства. Запобігти або погасити ці природні явища неможливо, тому головне завдання полягає в розробці прогнозів цих явищ для зменшення можливих негативних наслідків[4].

### 3.2. Прибережна циркуляція вод.

Як відзначалося в попередньому розділі, у результаті дії вітру й хвильового переносу течії, що утворюються, можуть викликати підвищення рівня води біля берега. З підйомом рівня води починають розвиватися компенсаційні течії, спрямовані від берега, швидкість яких з підйомом рівня

також збільшується. Ці компенсаційні течії є як би ланкою, що замикає цикл переміщення мас води. У кінці кінців настає сталий режим, при якому кількість води, що надходить до берега, дорівнює кількості води, що йде в море.

Компенсація нагону в природі може йти двома шляхами: у вигляді протитечій і розривних течій. Гіпотетично протитечію можна уявити собі так: вітровий плин створює підйом рівня в береговій зоні. перепад, Перепад рівня що утворився внаслідок підйому, формує градієнтну течію, що виносить воду в придонному шарі убік відкритого моря.

У реальних умовах у мілкому морі під протитечіями розуміють не зворотний потік у чистому виді, а ту тенденцію до зворотного переносу часток води, що створюється нахилом рівня. Перепад тиску створює перешкоду для надходження вод при нагоні - воно вповільнюється й може зовсім припинитися. Якщо розглядати берегову зону в цілому, то це пояснення цілком припустиме, однак у приурізовій зоні воно порушується ефектом розривних течій.

Розривні течії, на відміну від компенсаційних протитечій, є яскраво вираженими вузькокалізованими потоками, які можуть охоплювати водну товщу від поверхні до дна. Вони в природі спостерігаються у вигляді вузьких струменів, що загасають у міру віддалення від берега.

Основна причина виникнення розривних течій - нерівномірність нагону води уздовж берега за рахунок звивистості берегової смуги. У процесі нагону створюється сильний вздовжбереговий потік і вода накопичується в нерівностях рельєфу берега й дна, поблизу мисів і кіс, які перешкоджають її руху. У цих зонах утворюється ділянка підвищеного рівня, і в момент, коли сила тиску перевищує силу потоку, виникає розривна течія. Біля мілких берегів картина виникнення розривних течій може бути інша: напрямок вздовжберегових течій може виявитися зустрічним на складних ділянках берега й у цьому випадку також виникає значний градієнт тиску.

На малих глибинах розривні течії захоплюють всю товщу води від поверхні до дна. У міру збільшення глибини, як і всі стічні течії, вони переходять у поверхневі шари. Максимальні швидкості розривних течій на поверхні становлять приблизно  $1\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Розривні течії відносно легко виявляються по завихренню на межах їх сильних струменів, розривам у лінії прибережних бурунів та значній мутності головного струменя течії.



За рахунок локальності й великих швидкостей ці течії становлять серйозну небезпеку для навігації. Судно, яке опинилося в зоні течії, може бути знесене з курсу, а при проходженні по каналі – викинуто на брівку. Крім того, в окремих районах, ці течії спостерігаються у вигляді сильних струменів придонних течій зі швидкостями до  $10\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . В цих випадках течія біля дна виглажує нерівності рельєфу навіть у корінних породах, а з часом виробляє жолоба, які відходять від берега на кілька миль, викликає розриви у підводних вздовжберегових валах, руйнує стінки судоходних каналів. Такі різкі зміни після шторму морфології прибережних районів перешкоджають існуючій схемі переміщення наносів і призводять до утворення мілин та банок у самих несподіваних місцях [4].

### 3.3. Вітрове хвилювання.

Енергія, що надходить на поверхню океану за рахунок вітру, передається континентальним окраїнам головним чином хвилями. Випадкове поле хвиль при підході до берега трансформується в майже ритмічні биття й накат прибою на берег.

Коли наближаються до суші хвилі із глибокої води і вступають на мілководдя, по досягненні певної глибини починається їхня трансформація й рефракція. При підході до прямолінійно витягнутого берега з рівномірною, що збільшується у бік моря глибиною, напрямком руху хвиль викривляється таким чином, що їхні гребені стають паралельними берегу практично незалежно від того, під яким кутом до узбережжя вони рухалися спочатку.

Якщо хвилі вступають у прибережну зону із сильно порізаним рельєфом дна, що є продовженням берегового рельєфу, рефракція хвиль приводить до того, що виступаючі в море миси стають ділянками концентрації хвильової енергії, тоді як у затоках енергія хвиль помітно знижується. Це приводить до посиленої ерозії мисів.

Хвилі не тільки переносять енергію. При зустрічі з берегом вони переміщують і воду. Тому над прибережними скелями завжди висить завіса бризок води, а хвилі як би "киплять", у той же час на пологі пляжі відбувається накат води від перекидання хвиль. Хвилі, що набігають на миси, змушують воду рухатися уздовж берега в напрямку від мисів до заток. Тому одночасно з підрізанням мису хвильовою абразією відбувається утворення

берегової лінії в затоці (нагромадження матеріалів абразії). Кінцевий результат цих двох процесів зводиться до випрямлення берегів.

Біля практично прямолінійних берегів напрямок вздовжберегових течій визначається напрямком руху хвиль. Ці течії переносять донні відкладення й на краях прямої ділянки утворюються коси. У міру розвитку кіс вони перетворюються в бар'єри, що облямовують лагуни. Але вздовжберегові течії не можна порівнювати із плином умовної ріки уздовж берега. Вони розпадаються на окремі осередки, і перенос води хвилями, які перекидаються, приводить до появи нормального до берега потоку, спрямованого убік моря. Так виникають розривні течії, які розглядалися вище [4,5].

## 4 ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

Поряд з розвитком судноплавства й нафтовидобувною діяльністю на шельфі, усе більше будуються морські гідротехнічні споруди. Будівля, і експлуатація цих споруд повинна проводитися з урахуванням шкідливих природних факторів, які будуть впливати на дані споруди. У даному розділі розглянуті несприятливі впливи на морські гідротехнічні споруди, деякими із цих факторів.

### 4.1. Вплив морського льоду.

Морський лід чинить фізичні й механічні впливи на гідротехнічні споруди. Фізичні впливи проявляються в руйнуванні матеріалу конструкції при поперемінному заморожуванні й відтаванні, що завжди має місце в зоні змінного рівня при негативній температурі повітря. Із цієї причини в умовах моря найбільшою мірою страждають бетонні й залізобетонні конструкції.

Механізм руйнування бетону при поперемінному замерзанні й відтаванні не зовсім ще ясний, однак, приблизну схему цього явища можна намітити. Пори й капіляри бетону мають розміри від мілімікронів до міліметрів і заповнені водою повністю або частково. При переході температури через  $0^{\circ}\text{C}$  у першу чергу вода замерзає у великих порах і лід, що утворився, віджимає не замерзлу воду із зони замерзання. Якщо пори заповнені водою більш ніж на 91%, то при цьому розвивається високий гідростатичний тиск, іноді до  $2000\text{кг}\cdot\text{см}^{-2}$ , який може викликати руйнацію в окремих місцях стінок пор, капілярів та появу нових мікротріщин. Цей процес буде продовжуватися й при подальшому зниженні температури, так як вода в мілких порах застається в рідкому стані, оскільки при підвищенні тиску знижується температура її замерзання.

Якщо в порах є повітря, то завдяки його великій стискальності гідростатичний тиск знімається, однак, через неоднорідність будови матеріалу можуть у цьому випадку розвиватися високі тиски в окремих місцях. При наявності непрохідних капілярів або капілярів з пережимами вода проникає через стінки капілярів і гель цементного каменю. При цьому розвивається гідродинамічний тиск, і тем вище, ніж швидше йде зниження

температури, а це веде до руйнування бетону. У клиноподібних мікротріщинах при замерзанні води, що починається з відкритого назовні широкого кінця мікротріщини процес іде таким чином, що у воді, яка залишилася усередині тріщини, розвивається підвищений гідростатичний тиск. При самому незначному підвищенні цього тиску у місці виклинцювання тріщини спостерігаються теоретично нескінченно великі напруги, що руйнують бетон.

При кожному циклі заморожування обсяг пор збільшується й, якщо вологість зростає, а це неминуче в зоні змінного рівня моря, то руйнування матеріалу лавиноподібно прогресує.

Слід зазначити, що при утворенні льоду як усередині пор, так і біля конструкції, різко зростає хімічна агресивність середовища, оскільки концентрація солей при замерзанні води значно збільшується й на цементний камінь уже діє міцний розсіл. По деяких дослідженнях цей фактор сприяє руйнуванню бетону навіть більшою мірою, чим поперемінне замерзання й відтавання.

Механічний вплив морського льоду на конструкції морських гідротехнічних споруджень можуть проявлятися у вигляді:

- а) статичного тиску льоду при термічній зміні його об'єму;
- б) статичного тиску льоду при навалі на спорудження під впливом вітру й плину;
- в) вертикальних і згинаючих зусиль при зависанні примерзлого льоду під час зниження рівня води;
- г) зусилля, що висмикує, при впливанні примерзлого до конструкції льоду під час підйому рівня води;
- д) стираючого впливу льоду на поверхню конструкції при горизонтальних і вертикальних рухах льоду;
- е) тиск від накопичення льоду;
- ж) динамічного тиску при ударі об споруди вільно плаваючих крижин під впливом вітру й плину.

Силовий вплив льоду на споруди визначається по емпіричних формулах, які приводяться в курсі «Порти й портові споруди». Однак при будь-якому силовому впливі льоду на споруди масивного типу питомий тиск не може бути більше величини:

$$P_{\max} = h_{\text{л}} K R_{\text{сж}} A$$

Де  $h_{\text{л}}$  - товщина льоду;  $K$  - коефіцієнт, рівний 0,6 - 0,8 для слабкого й міцного льоду і який враховує нещільне стикання льоду й спорудження;  $R_{\text{сж}}$  - межа міцності льоду при стисканні;  $A$  - коефіцієнт, що враховує кліматичні особливості району.

На практиці дуже часто, щоб виключити вплив на споруди льоду при його термічному розширенні й при коливаннях рівня води, біля споруд різними способами створюють і підтримують майни. За певних умов найбільший технічний і економічний ефект може дати застосування стисненого повітря, що подається по перфорованих трубах, покладеним по дну, який виходячи з отворів, піднімається догори, захоплюючи за собою придонні більш теплі води, що розтоплюють лід.

Для успішного використання цього методу досить, щоб температура води в придонному шарі була вище температури замерзання 0, 3-3- 0,4 °С.

#### 4.2. Вплив вітрового хвилювання.

Хвилі, що поширюються на поверхні моря, при підході до перешкод, наприклад, у вигляді молів або хвилеломів, міняють свій напрямок, обгинаючи при цьому перешкода й зменшуючись по висоті. У результаті цього за перешкодою створюється хвильова тінь. Границя тіні виявляється розмитою й чим далі від перешкоди, тим більше. Зі збільшенням довжини перешкоди, розмір тіні зростає. При переході через границю тіні амплітуда хвиль міняється за складним законом внаслідок інтерференції хвиль, що обгинають перешкоду. Порушення прямолінійності поширення хвиль поблизу перешкод і супровідні його явища інтерференції називають дифракцією хвиль. У практиці портобудівництва звичайно, під дифракцією розуміють тільки огибання хвилями перешкоди. Слід зазначити, що з підвітряної сторони перешкоди, дифраговані хвилі рухаються уздовж перешкоди й створюють на останні тиск, як прогресивні хвилі. Дифракція хвиль впливає на хвилювання усередині акваторій портів.

Питаннями дифракції хвиль на огороджувальних спорудах присвячена велика кількість як теоретичних, так і експериментальних робіт вітчизняних і закордонних дослідників. Уперше задача про дифракцію хвиль на поверхні

важкої нестисливої рідини були в математичній постановці вирішена Л. А. Бойко.

У більше простому виді рішення дане проф., Ю. М. Криловим, що розглянув задачу про дифракцію хвиль біля щілини в плоскому екрані й дифракцію хвиль біля напівнескінченного, прямолінійного екрана. Рішення останнього завдання доведено до стадії, що дає можливість практично використовувати отримані результати.

В основу теоретичних рішень Крилова покладена аналогія дифракції хвиль на поверхні рідини з явищами дифракції світлових, звукових і електромагнітних хвиль. При цьому виявляється чисто формальна аналогія явищ, хоча фізичні процеси, зовсім різні. І тому є значні розбіжності між результатами теоретичних розрахунків і експериментальних даних. Більш близький збіг з натурними даними виходить при розрахунках по наближеним рішенням

Перешкоди розташовані на шляху поширення хвиль, змінюють не тільки напрямок поширення хвиль, але й характер хвилювання: спостерігається відбиття хвиль від перешкоди, руйнування їх у перешкоди, сплески та інше. У свою чергу, і хвилі здійснюють на перешкоди, у тому числі й на гідротехнічні споруди, різні впливи: хвильовий тиск на споруди, розмив підстави споруд і ін.

Характер взаємодії хвилювання зі спорудами залежить від параметрів хвилювання, глибини води й конструкції споруд. У морському гідротехнічному будівництві найбільше часто споруди, піддані впливу морських хвиль, виконують у вигляді вертикальної стінки, розташованої на укосі дна або на штучній підставі з кам'яного накиду, похилої стінки, насипу з каменів або бетонних блоків і у вигляді наскрізної конструкції.

При розгляді взаємодії хвиль із вертикальною стінкою, варто розрізняти чотири відмінні типи хвилювання: стоячі хвилі, розбиті хвилі, хвилі перехідного типу- від стоячих до розбитих хвиль і прибіїні хвилі.

Основними факторами, що визначають зміну характеру хвилювання, перед стінкою, що стоїть на кам'яній призмі, тобто перехід від стоячих хвиль до хвиль перехідного типу й потім до розбитих хвиль є: висота  $h$ , довжина  $K$  и крутість хвилі  $-h/K$ , глибина над бермою постелі або над поверхнею бермених (захисних) масивів, ширина берми й величина укосу кам'яної призми.

Кожний із зазначених типів хвилювання має місце при строго певних співвідношеннях цих факторів.

Якщо хвилі підходять до споруди фронтально без попереднього руйнування, то при досить великій глибині біля стінки, внаслідок інтерференції прямої й відбитої хвилі, утвориться стояча хвиля. При цьому висота стоячої хвилі виявляється подвоєної, стосовно висоти підходящої хвилі. Частки рідини, що хвилюється, роблять коливальні рухи по криволінійних траєкторіях. Швидкості часток при підйомі й спаді хвилі залишаються однаковими по абсолютній величині. Зміни тиску в будь-якому місці по висоті лицьової грані стінки за час проходження гребеня або западини характеризуються кривими, симетричними щодо вертикальних ліній, що відповідають моментам часу, найвищого й найнижчого положення хвильової поверхні біля стінки.

Вид кривих зміни тиску безпосередньо пов'язаний з характером руху часток рідини, що хвилюється, і може служити критерієм для встановлення границь існування того або іншого типу хвилювання перед спорудою.

Фізика явища й характер впливу хвиль на споруди в зоні перехідного режиму відрізняються від таких у зоні стоячих хвиль. Тому доцільно виділити зону перехідного режиму в особливу область взаємодії хвиль зі стінкою. При перехідному типі хвилювання положення вузлів і пучностей не залишається постійним. Відбувається відчутне їхнє горизонтальне переміщення щодо деякого середнього положення, у той час як при стоячих хвилях цього практично не спостерігається. Змінюється також і характер руху часток рідини, що хвилюється. Радіус кривизни траєкторій коливального руху часток у міру зменшення глибини над бермою збільшується, внаслідок чого горизонтальні складові швидкості зростають. Через це висота укочування хвилі на стінку значно більше, ніж при стоячих хвилях, а швидкість при цьому більше чим при спаді; товщина шаруючи рідини в міру просування нагору по стінці зменшується. Таке явище спостерігається до глибини над бермою. При подальшому зменшенні глибини гребені хвиль у пучностях піднімаються вище й вершини їх усе більше загострюються, вплив хвилі на стінку супроводжується сплесками наростаючої інтенсивності, місцевим руйнуванням гребеня хвилі й відривом мас води при найвищому підйомі. Нарешті, при глибині над бермою  $H_6=0,7h$  відбувається повне розбивання хвилі на стінці, коли наступаючий фронт

хвилі стає вертикальним у момент його зустрічі з лицьовою гранню стінки. Відбувається удар розбитих хвиль об стінку.

Таким чином, при зменшенні глибини над бермою в зоні перехідного типу хвилювання, ознаки, властивим стоячим хвилям, слабшають, а ознаки розбитих хвиль, накопичуються.

Зараз спостерігається підвищений інтерес до вивчення розбитих і прибійних хвиль і їхнього впливу на споруди як з погляду фізичної сутності явища, так і з погляду виникаючих при цьому навантажень на споруди. Щодо природи виникаючих тисків від розбитих і, тим більше, прибійних хвиль не існує певної точки зору й не запропоновано загально визнаної фізичної схеми явища.

Однієї з найбільш перспективних гіпотез є гіпотеза Бегнольда. При руйнуванні хвилі безпосередньо перед вертикальною стінкою похилий уперед гребінь хвилі торкається стінки й між стінкою й переднім схилом хвилі виявляється затисненим деякий об'єм повітря. Оскільки швидкості часток води в цьому випадку спрямовані, приблизно, горизонтально, то відбувається стискання повітря рідиною, що натікає, без помітного його переміщення по висоті стінки. При певному тиску усередині об'єму повітря відбувається його прорив біля стінки назовні, й рідина приходить у зіткнення зі стінкою, викликаючи підвищений тиск. Однак тиск, який чинить рідина на тверду стінку в присутності повітря, як доводить Бегнольд, буде завжди менше тиску, що розвивається при гідравлічному ударі.

Якщо хвиля руйнується раніше стінки, то об'єм захопленого повітря збільшується, причому, завдяки швидкості часток рідини, спрямованої під кутом зверху униз, повітряний міхур переміщається спочатку до низу стінки, а потім по дну убік моря, де й спливає на поверхню води. Тиск, надаваний при цьому на стінку, значно менше, ніж у випадку безпосереднього розбивання хвилі об стінку.

Непрямим підтвердженням гіпотези «повітряного мішка» може служити той факт, що високий тиск повністю пропадає, якщо стінка зрізана на рівні спокійного прошарку. При цьому повітря має вільний вихід, стискання його відсутнє і на стінку діє звичайний гідродинамічний тиск.

Тиск, що розвивається усередині об'єму повітря, внаслідок його стискання рідиною, що рухається, повинен передаватися не тільки перешкоді, але й навколишній рідині, тобто при розбиванні хвилі усередині



рідини й на границі рідина - тверде тіло повинно спостерігатися коливання тиску. Дійсно, поставлені досліди підтверджують це положення.

Таким чином, стає легко зрозумілим факт виривання масивів з нижніх курсів кладки огорожувальних споруд. Для цього досить допустити, що виникаючі коливання тиску усередині рідини зрушуються по фазі, проходячи через шви кладки.

Є досить переконливі результати вимірів тиску розбитих і прибійних хвиль, як у лабораторних, так і в реальних умовах, які вказують на яскраво виражений динамічний характер цього тиску.

Величина обмірюваного тиску на вертикальну стінку в реальних умовах становить  $70-80\text{т}\cdot\text{м}^{-2}$  і більше, але час дії такого тиску дуже короткий і вимірюється долями секунди.

Висота сплеску при ударі прибійних або розбитих хвиль об споруду досягає іноді десятків метрів; відомі випадки ушкодження конструкцій на висоті 40-50м і більше. У цей час при будь-якому характері хвилювання перед вертикальною стінкою хвильове навантаження приймається діючим статично й при визначенні напруг у фундаменті споруди коливання системи споруда - ґрунт не враховуються. У дійсності ж, хвильове навантаження у всіх випадках повинне розглядатися як динамічне: при впливі розбитих, прибійних і стоячих хвиль.

При впливі розбитих і прибійних хвиль споруда робить змушені й вільні коливання; при впливі стоячих хвиль - тільки змушені коливання. При цьому в ряді випадків амплітуда змушених коливань при стоячих хвилях виявляється досить значною.

Необхідність динамічного розрахунку споруд при впливі розбитої й прибійної хвиль не викликає сумнівів і ряд таких пропозицій був опублікований у свій час. При впливі ж стоячих хвиль у результаті динамічного розрахунку з позицій класичної теорії коливань повинні бути отримані ті ж амплітудні значення переміщень споруд, як і в результаті статичного розрахунку, тому що період власних коливань споруд звичайно в багато разів менше періоду хвильових коливань.

У результаті вимушених коливань може спостерігатися осад споруди, що по абсолютній величині перевершує в десятки разів осад при статичному додатку того ж навантаження. Осад швидко зменшується по величині, але не загасає протягом тривалого часу.

Однак відсутність надійних методів обчислення величини й часу дії хвильового тиску розбитих і прибійних хвиль, а також приєднаної маси води й ґрунту, змушує тимчасово відмовитися від такого шляху й запропонувати умовну схему розрахунку, замінивши динамічні навантаження еквівалентним статично прикладеним тиском.

При впливі стоячих хвиль споруди поки що так само розраховують на статично прикладений тиск. При підході до укiсних споруд із досить крутим ухилом хвиля частково відбивається й частково руйнується. Відбиття хвилі зростає зі збільшенням крутості укосу й зменшенням крутості хвилі, шорсткості й проникності укосу. Так, наприклад, при заміні гладкого непроникного покриття укосу накиданням з бетонних масивів (блоків) відбиття зменшується у два рази.

При переміщенні хвилі над укосом відбувається перекручування профілю хвилі: крутість заднього схилу зменшується, переднього - збільшується. На деякій глибині гребінь хвилі досягає граничної асиметрії; передній схил гребеня стає вертикальним, а висота гребеня досягає максимальної величини. При деякому подальшому просуванні хвилі нагору по укосі із гребеня виклинцюється вільно падаючий струмінь і хвиля руйнується. Критична глибина, на якій руйнується хвиля, збільшується при зменшенні закладення укосу й крутості хвилі. При крутих укосах і коротких хвилях потік, що скачується з укосу, сприяє руйнуванню наступної хвилі, зустрічаючись із подошвою хвилі на більшій глибині.

При обваленні хвилі на укосі відбувається удар струменя об поверхню укосу. При цьому в перший момент спостерігається різке наростання тиску, потім тиск знижується й надалі має місце його коливання з досить низькою частотою, що викликається пульсацією об'єму повітря, утвореного між укосом і хвилею при її руйнуванні. На пологих укосах величина тиску при ударі струменя зменшується, а час наростання тиску збільшується. Це пояснюється збільшенням у місці удару струменя глибини потоку, що скачується з укосу, і утворює повітряну подушку між струменем і площиною укосу.

Якщо на укосі, вище місця руйнування хвилі, розташовується вертикальна стінка, то вона, стримуючи вплив хвилеприбійного потоку, у свою чергу відхиляє потік нагору, викликаючи потужні сплески більших мас води, які, обрушуючись долілиць, можуть викликати спочатку руйнування

укося перед стінкою, а потім і самої стінки. Можливість такого явища варто передбачати при проектуванні всіх споруд, що перебувають у зоні хвилеприбійного потоку, і особливо берегозахисних споруд.

При проникному укісному конструктивному рішенню споруди у вигляді накидання з каменю або бетонних блоків відбиття хвилі різко знижується, тиск сильно зменшується по величині й змінюється за характером: різкі удари відсутні й мають місце тільки невеликі коливання тиску.

Незважаючи на те, що в більшості випадків хвилі підходять до споруди не по нормалі, при практичних розрахунках тиску хвиль на споруди вертикального й укісного типів цією обставиною, як правило, зневажають і розглядають тільки випадок фронтального підходу хвиль. Однак при косому підході хвиль, коли кут падіння, тобто кут між напрямком поширення хвиль і нормаллю до поздовжньої осі молу більше нуля, застосовувати отримані розрахункові формули вже не можна, тому що міняється характер взаємодії хвиль зі спорудою.

По багатьом питанням, пов'язаним з визначенням впливу хвиль на окремі опори, поки ще немає єдиної точки зору серед учених і інженерів, що говорить про необхідність подальшого дослідження цього питання. У значній мірі це відноситься й до споруд інших типів, про які говорилося вище,[5].

#### 4.3. Вплив коливань рівня моря.

Зміна рівня впливає на компонування й конструкцію морських гідротехнічних споруд, визначає характер і силу впливу води на гідротехнічні споруди. Від цього залежить тип, розміри гідротехнічних споруд і, в остаточному підсумку, надійність і вартість. Зміна рівня впливає на характер переміщення наносів, формування рельєфу прибережної обмілини; зміною рівня моря визначається обсяг землечерпальних робіт на підхідних каналах і акваторіях портів. З метою повної характеристики даного пункту узбережжя відносно коливань рівня будуються криві повторюваності й забезпеченості для певного відрізка часу, що дозволяє визначити високий і низький рівні моря заданої забезпеченості, які мають особливе значення при проектуванні й будівництві портів. Високий рівень визначає оцінку портової території, низький рівень - оцінку дна біля причальних споруд. Помилка у

визначенні цих оцінок може привести до серйозних порушень нормальної експлуатації порту.

Вихідними матеріалами для визначення імовірнісних характеристик рівня є дані багаторічних систематичних спостережень за коливаннями рівня, які ведуться на спеціально обладнаних гідрометеорологічних станціях і водомірних постах.

Внаслідок значних коливань рівня в ряді випадків зручніше користуватися середніми рівнями, які визначаються за даними спостережень. При цьому обчислюють:

-середньодобовий рівень, як середнє із щогодинних спостережень; у морях з незначними припливами цей рівень може бути визначений як середнє з добових спостережень;

-середньомісячний рівень як середнє із середньо-добових спостережень; у морях без припливів ( середньо-місячний рівень може бути визначений (при чотирьох термінових спостереженнях) з точністю до 1.0см; у морях із припливами точність обчислення знижується до 5.0см;

-середньорічний рівень, як середньо-арифметичне з відліків по футштоку за весь рік, що відповідає середньому річному рівню в даному місці; при чотирьох термінових спостереженнях середньорічний рівень обчислюється з точністю до 1.0см при будь-якому режимі року.

Середній багаторічний рівень обчислюється як середньоарифметичне із середньорічних рівнів, прийнятих рівноточними, і тому для його визначення із заданою точністю необхідно мати спостереження певної тривалості.

Тому що середній багаторічний рівень залежить від гідрометеорологічних умов, його значення змінюються від пункту до пункту узбережжя.

Всі спостереження за рівнем приводяться до єдиного рівня, за який у цей час прийнятий рівень на відмітці - 5.0м щодо нуля Кронштадтського футштока, спостереження по якому ведуться вже більше 100років.

З визначенням рівня зв'язане поняття нуля глибини - умовного рівня, до якого приводяться глибини морів і океанів при складанні морських навігаційних карт. Із приводу обчислення нулів глибини є багато пропозицій. Однак, всі вони не вільні від тих або інших недоліків і тому рекомендується обчислювати нулі глибини відповідно до сталої практики. У Радянському Союзі в морях з величиною припливу не більше 0.5м за нуль

глибини приймався середній багаторічний рівень, за винятком Каспійського моря, де за нуль глибини прийнятий умовний рівень. У морях, де величина припливу дорівнює або більше 0.5м за нуль глибини приймається найбільш низький рівень, можливий по астрономічних причинах, так званий теоретичний нуль глибини.

При розрахунку нулів глибин не враховуються короточасні, неперіодичні й сгінно-нагінні коливання, що повинне бути зроблене при практичному використанні морських навігаційних карт.

У ряді випадків систематичні коливання рівня, зокрема, припливно-відливні коливання можуть бути використані для зниження вартості будівництва й спрощення способу виконання будівельних робіт.

При наявності припливних коливань можна підвищити оцінку порога сухих доків, передбачивши уведення й виведення ремонтованих судів у повну воду. Те ж саме відноситься і до обладнання суднобудівних і судноремонтних елінгів.

При припливних коливаннях рівня в ряді портів передбачений захід судів у порт і вихід з порту в повну воду, що дає можливість обійтися або без підхідних каналів, або зменшити їхню глибину. У цьому випадку судна в порту заводяться в закритому басейні, як, наприклад, у Лондонському порту, або стають до причалів, у яких виритий котлован, як, наприклад, у порту Конакрі (Гвінейська республіка).

Припливні коливання дозволяють зробити бетонування вузлів насухо в малу воду.

При періодичних коливаннях рівня можна скоротити довжину паль, тому що можна здійснити їх добивку й сполучення з ростверком при малій воді.

При значних коливаннях рівня з'являється можливість будівництва споруд не методом «у воду», а насухо, без пристрою перемичок.

З іншого боку, катастрофічні підвищення рівня можуть викликати повені, які є причиною величезних збитків, а іноді й людських жертв.

Для захисту від повеней будують захисні дамби, вартість яких велика,[5,6].

#### 4.4. Вплив прибережних течій.

Для гідротехнічних споруд головне значення мають прибережні течії. Течії з погляду роботи споруджень і переробки берегів, у порівнянні із хвилюванням відіграють другорядну роль, але іноді вони можуть порушити роботу споруд і привести до важких наслідків.

Насамперед, наявність течій, їхній характер, швидкість і напрямок необхідно враховувати при рішенні питання про заносимість акваторії портів, підхідних каналів, ковшів водозаборів, різних прорізів і т.п. при наявності піщано-мулистих морських відкладень. Особливо це відноситься до приливних течій, які можуть мати великі швидкості й переміщати колосальні об'єми мулистих наносів, і викликати значну заносимість акваторій і каналів. Відомі випадки, коли інтенсивність відкладення наносів при правильних півдобових припливах досягала 1.0см у добу.

Розташування випусків міської або портової каналізації необхідно погоджувати з напрямком прибережних плинів для того, щоб нечистоти не забруднювали акваторію порту й міські пляжі.

Самий ретельний аналіз системи течій варто зробити, перш ніж призначати місця відвалів при черпанні ґрунту на морських каналах, щоб ґрунт не перемістився назад у канал.

Швидкість течії і її напрямок визначають тиск льоду на споруди як при ударі невеликих окремих крижин, що досягають декількох десятків метрів, так і при статичному тиску від навалу крижаних полів довжиною кілька сотень метрів. Напрямок течії необхідно враховувати при проектуванні входу в порт або в ківш водозабору для того, щоб уникнути забивання акваторії плаваючими льодами [5,6].

#### 4.5. Урахування рельєфу й геологічної будови дна.

Рельєф дна прибережної зони моря визначає характер трансформації й рефракції хвиль на мілководді, положення смуги прибою, а отже, тип хвилювання перед спорудами й характер впливу хвиль на споруди.

Розподіл глибин у прибережній зоні моря визначає трасування зовнішніх огорожувальних споруд підхідних каналів. Залежно від рельєфу дна міняється вартість будівництва, що зростає приблизно пропорційно кубу

глибини. При наявності банок і рифів у районі будівництва портів бажано їх використовувати як підстави молів, що звичайно різко скорочує витрати на їхнє зведення. Заглиблений і відмілий характер дна визначає або будівництво хвилелому, розташованого паралельно лінії берега, або будівництво парних збіжних молів.

У деяких випадках неправильне уявлення про рельєф дна спричиняє прийняття невірних рішень. Так, наприклад, при проектуванні одного рибного порту при нанесенні на карту рельєфу дна був пропущений один невеликий острів, що, як з'ясувалося надалі, був розташований в центрі підняття, що відокремлює бухту від океану. Аналіз рефракції хвиль навколо острова дозволив визначити дійсні величини параметрів хвилювання, які виявилися значно менше обчислених без урахування острова. Ця обставина дала можливість скоротити розміри огорожувальної конструкції.

Геологічна будова дна й литологічний склад відкладень у прибережній зоні моря істотно впливають на вибір типу конструкцій гідротехнічних споруд і способу їхнього зведення.

Наявність слабких ґрунтів у основі морських гідротехнічних споруд досить сильно ускладнює їхнє будівництво, а недостатньо ретельне вивчення міцності ґрунтів і характеру їхнього залягання може привести в остаточному підсумку до аварії цих споруд. Тому, з огляду на першорядне значення вивченості геологічної основи для забезпечення надійності морських гідротехнічних споруд варто рекомендувати широке впровадження сучасних методів дослідження ґрунтів в умовах їхнього природного залягання із застосуванням ехолотів, ґрунтоэхографів, вібропоршневих трубок, підводної пенетрації й інших приладів і методів при обґрунтованому обсязі досліджень, що залежить від типу й призначення споруд [5].

#### 4.6. Вплив потоку наносів.

Досить часто морські порти з ряду причин будуються на відкритих морських узбережжях. При цьому для захисту акваторій портів і підхідних каналів від хвилювання й наносів зводяться огорожувальні спорудження у вигляді молів і хвилеломів. Всі ці споруди порушують природний режим хвилювання, течій і руху наносів, і у свою чергу піддаються впливу зазначених факторів. Порушення природного режиму морських узбереж

нерідко приводить до розмиву одних і наростанню інших ділянок берега, що прилягають до порту, а також до відкладення наносів на акваторіях портів і в підхідних каналах, обумовлюючи їх заносимість. Всі ці процеси є взаємозалежні, взаємообумовлені і відбуваються, як правило, одночасно.

Результати й хід розвитку комплексу явищ, зв'язаних з будівництвом портів на морських узбережжях, залежать від складу наносів, характеру поздовжнього переміщення наносів і планового розташування штучних споруд. При чітко вираженому потоці грубозернистих наносів гальки, гравію або крупного піску, які переміщуються поблизу урізу, будівництво молу, орієнтованого, приблизно, по нормалі до берегової лінії й, отже, що перетинає потік наносів, викличе акумуляцію наносів біля молу з боку руху наносів і розмив берега із протилежної сторони. І той і інший процеси починаються відразу ж після початку будівництва молу, і їхня інтенсивність залежить від кута між напрямком рівнодіючої хвилювання й лінією берега, зростаючи зі зменшенням цього кута. Акумулятивна форма розвивається за схемою заповнення зовнішнього кута. У міру висування надводної частини акумулятивної форми у бік голови молу в цьому ж напрямку наростає і її підводна частина, викликаючи обміління прилягаючої ділянки моря. У той момент, коли мористий край підводної частини акумулятивного тіла досягає голови молу, наноси почнуть обтікати мол, викликаючи заносимість входу в порт. Із цього часу мол уже не захищає порт від наносів і забезпечення необхідної глибини на вході звичайно здійснюється систематичним проведенням ремонтного черпання. При подальшому наростанні берега з навітряної сторони молу інтенсивність заносимості зростає й при висуванні лінії берега до голови молу порт виявляється повністю занесеним. Такому положенню сприяють невдало обране місце будівництва порту й компонування огорожувальних споруд без належного обліку місцевих умов. Так, наприклад, відбулося з невеликим рибальським портом Кро-Де-Кань на узбережжі Середземного моря, що, маючи в 1935р. у голові молу глибину води 5.0м, до 1949р. був повністю засипаний галькою.

Оскільки в зазначених вище умовах наноси повністю утримуються молем, то з підвітренного боку молу або порту, енергія хвиль витрачається тільки на розмив берега, що у деяких випадках приймає катастрофічний характер.



Акваторія багатьох портів створюється зведенням хвилелому або як самостійної споруди, або працюючого разом з молами й іншими хвилеломами. У всіх випадках, як правило, хвилелом розташовується, приблизно, паралельно лінії берега або під невеликим до неї кутом, являючись, по визначенню проф. Зенковича, штучним елементом зовнішнього блокування берега. При грубозернистому матеріалі й чітко вираженому потоці наносів від берега почне наростати виступ, що при подачі матеріалу буде просуватися до хвилелому. Одночасно акумулятивна форма буде рости уздовж берега назустріч потоку наносів внаслідок заповнення утвореного виступом зовнішнього кута. При достатній кількості матеріалу виступ берега примкне до хвилелому, утворивши несиметричну пересип і повністю засипавши порт. При наявності зустрічних рухів наносів пересип буде нарощуватися із двох сторін і прийме симетричну форму. При великій довжині хвилелому й двостороннім надходженні наносів утворяться два пересипа, що примикають до обох голів хвилелому.

На піщаних узбережжях хвилелом, розташований у межах зони руху наносів, викликає звичайно відкладення піску біля берега, де утвориться надводна форма, і відкладення піску за хвилеломом з утворенням підводної форми. У протоці, що утворилася, між цими формами різко зростають швидкості плинину, у результаті чого транспортуюча здатність потоку зростає, і всі наноси проходять через звужений проріз. При невеликій довжині хвилелому частки наносів проходять уздовж нього за хвилини (3-4 хвил.) і не встигають випасти на дно. За таких умов акумулятивна форма за хвилеломами залишається розірваною на дві частини. На піщаному узбережжі занесення акваторії за хвилеломом при наявності достатньої кількості наносів відбувається дуже інтенсивно.

Інтенсивна заносимість портів і підхідних каналів спостерігається при наявності мулистих наносів, які переміщуються у зваженому стані й у вигляді сильно насичених суспензій у придонних шарах води (опливаючі наноси). Особливо страждають порти, розташовані на відмілих берегах припливних морів, тому що припливні течії переміщують величезні маси зважених мулистих наносів: потужність потоку наносів іноді становить кілька мільйонів кубічних метрів у рік. Проникаючі із припливними течіями в захищені від хвилювання акваторії порту мулисті наноси при зміні напрямку

течій випадають на дно. Цьому ж сприяє й менша швидкість при відливі. Швидкість відкладення мулистих наносів досягає 1 м і більше в рік.

У бесприпливних морях потік мулистих наносів має меншу потужність, але обумовлює також досить сильну заносимість портів. У нашій країні мулисті наноси широко поширені в Азовському морі, де вони поповнюються твердим стоком р. Дон і р. Кубань, а також інтенсивним розмивом північно-східних глинистих берегів моря, де, наприклад, у районі м. Приморсько-Ахтарськ швидкість розмиву глинистого берега становить 12 метрів у рік. Заносимість портів і каналів в Азовському морі характеризується обсягом щорічних черпань, обчислюваних мільйонами тонн.

Маючи у своєму розпорядженні дані по топографії й про напрямок руху наносів і маючи план рефракції хвиль, можна спробувати вирішити питання оптимального трасування каналу. Однак якщо при цьому не вдається уникнути його заносимості, тож доводиться вживати додаткових заходів. До них відносяться: огороження каналу непроникною дамбою повного профілю з навітряної сторони - радикальний, але дуже дорогий захід, що рекомендується застосовувати на глибинах не більше 3-4 м; розширення каналу в місцях перетинання постійних акумулятивних тіл (коси, бара та ін.); застосування спеціальних наносоловлячих прорізів з навітряної сторони; пристрій хвилеломів з навітряної сторони каналу, зведення комплексу берегозахисних споруд; перепоглиблення.

Однак на практиці в переважній більшості випадків боротьба із заносимістю портів і підхідних каналів ведеться ремонтним черпанням.

Великі обсяги черпання, а також багатомільйонні витрати на берегоукріплювальні роботи, пов'язані з розмивом після будівництва портів, з усією очевидністю порушують питання про необхідність ретельного аналізу природного режиму узбережжя й можливих його змін після будівництва гідротехнічних споруд при проектуванні портів на відкритих морських узбережжях.

#### 4.7. Біопшкодження гідротехнічних споруд.

Вивчення морських організмів і їхнього впливу на морські гідротехнічні спорудження, закономірностей, що керують процесами

взаємодії, і наслідків такої взаємодії є одним з напрямків технічної гідробіології.

У переважній більшості випадків вплив морських організмів на споруду пов'язаний з ушкодженнями останніх і рідше з погіршенням умов роботи споруди.

Ушкодження матеріалів і споруд морськими організмами - біошкодження - досягає величезних розмірів і оцінюється десятками мільярдів доларів. У зв'язку із цим цілком зрозумілий той інтерес, що проявляється у всіх країнах до цієї проблеми.

Досягнуто певних результатів, але багато питань залишаються поки ще невирішеними. Зокрема, має бути виконана велика робота з вишукування мір захисту морських гідротехнічних споруд від біошкоди, чому повинне передувати вивчення особливостей організмів, що заподіюють шкоду спорудам, особливостей матеріалів споруд і умов, у яких відбуваються ці ушкодження.

Отже, при вивченні проблеми біошкодження повинні використовуватися засоби й методи гідробіології, гідрології (океанології) і гідротехніки.

Нижче викладаються деякі питання, пов'язані із зазначеною проблемою.

Поразки дерев'яних конструкцій. Дерев'яні конструкції морських гідротехнічних споруд піддаються гниттю й руйнуються деревоточцями.

Гниття - це процес розкладання деревини під впливом фізико-хімічних факторів і руйнівної дії грибів.

Гриби відносяться до нижчих рослин, позбавлених хлорофілу. Вегетативне тіло - міцелій або грибниця, - складається з тонких розгалужених ниток - гіфів, які ростуть своїми кінцями й поширюються на поверхні або усередині деревини. Розмножуються гриби за допомогою особливих кліток - спор.

Спори - потрапивши на деревину - проростають, утворюють міцелій. Міцелій виділяє особливі ферменти, що перетворюють внутрішньоклітинні речовини й речовини клітинних оболонок у розчинні цукри які засвоюються грибами. У результаті клітки деревини руйнуються, деревина робиться м'якої, губчатої й втрачає свою міцність.

Найбільше часто на гідротехнічних спорудах виявляються: плівчатий будинковий гриб, що руйнує деревину листяних і хвойних порід, білий будинковий гриб, що руйнує в основному деревину хвойних порід, щілинний гриб, що вражає деревину хвойних порід і ін.

Найбільш сприятливі умови для розвитку грибів створюються при вологості - 25-60% і температурі – 18-36°C. При вологості менш 25% розвиток грибів припиняється від нестачі води, а при насиченні деревини водою - через відсутність достатнього для подиху грибів кількості кисню. Тому під водою й у зоні капілярного підйому води деревина не гниє. Оскільки в грибах немає хлорофілу, наявність або відсутність світла не має істотного значення для їхнього розвитку.

У якості мер запобігання деревини від гниття застосовують просочення деревини антисептиками - крезотовим маслом, мідними препаратами, карболінеумом, фтористим натром і ін. Поряд із цим варто уникати складних візків і зчленувань, де може затримуватися вода, а також необхідно забезпечити гарну вентиляцію конструкцій.

До деревоточців відносяться, в основному, молюски й ракоподібні. У морях СНД і Балтії зустрічаються 15 видів деревоточців: двостулкові молюски із сімейства терединід, фоладід, ракоподібні із двох видів рівноногих раків: лімнорія й сферама, і з роду раків бокоплавів - хелюра.

Із двостулкових молюсків найбільше поширення одержали тередо й банкія із сімейства терединід. Терединіди живуть у дереві й харчуються деревиною. Личинки осідають на поверхні дерева, і, через кілька днів, починають заглиблюватися в деревину.

Терединіди мають характерну форму: витягнуте червоподібне тіло й невелика раковина із двох стулок, що прикривають передню частину тіла. На стулках раковини є зуби - до 5 тис. штук. При русі стулок раковин деревина подрібнюється й терединіда просувається вперед. Ходи терединід спочатку розташовуються перпендикулярно поверхні, а потім повертають уздовж волокон. З ходу назовні виведені два сифони: один - що втягує, інший – що випускає воду. На задньому кінці тіла є дві вапняні пластинки - палетки, які у випадку потреби щільно закривають вхідний отвір ходу. Сам хід вистилається вапняними відкладеннями у вигляді трубки.

Тередо в дорослому стані можуть досягати довжини 350мм, при діаметрі 9.0мм у Чорному морі, а в далекосхідних морях - 900-950мм.

Банкіє в дорослому стані мають довжину до 800мм при діаметрі 10-25мм.

При великій щільності поселення терединід число вхідних отворів досягає 60-70 на 1см<sup>2</sup> поверхні й дерево в поперечному розрізі нагадує бджолині стільники. При цьому ріст окремих особин обмежується.

Основними факторами, що обмежують поширення й активність терединід, є температура й солоність морської води. Тередо нормально розвиваються при солоності 12-25‰ і можуть виживати при зниженні солоності до 9‰ і підвищенні до 35‰. При солоності менше 8‰ і вище 40‰ тередо гине. Для дорослих тередо найбільш сприятлива температура 10-27° С. При зниженні температури, до 5°С и підвищенні до 30°С, тередо гине.

Тередо може задовольнятися незначною кількістю кисню й навіть існувати тривалий час в анаеробних умовах, добре переносить забруднення води й байдужий до характеру ґрунту.

Банкія на зміну солоності реагують приблизно також як і тередо, але значно краще переносить зниження температури й може нормально розвиватися при температурі близької до нуля.

З морів, які обмивають берега Росії та України, терединіди зустрічаються в Чорному, Азовському, Японському, Охотському і Баренцевому морях.

Терединіди приносять величезний збиток, ушкоджуючи гідротехнічні споруди, побудовані з дерева. У нашій країні самим неблагополучним щодо цього є Чорне море, де в деяких портах дерев'яні палі руйнувалися тередо протягом 1-2 років. В інших країнах у ряді випадків спостерігалось ще більш інтенсивне ушкодження, так, наприклад, у США зруйновані нові палі діаметром 50см протягом шести місяців.

З ракоподібних деревоточців у наших водах найбільше поширення мають кілька видів лімнорії із загону ізопод, які зустрічаються в Чорному, Японському, Охотському, Баренцевому і Білому морях.

Лімнорія має тіло циліндричної форми довжиною 2-3.5мм і шириною ~ 1мм, в окремих випадках довжина тіла досягає 8-8.5мм при ширині ~2.5мм (Охотське море, бухта Нагаєва). Рот рачка озброєний чотирма парами щелеп, з яких передня призначена для різання й здрібнювання деревини, інші ротові частини відправляють здрібнену деревину в стравохід. Лімнорія вигризає ходи в зовнішніх шарах деревини паралельно поверхні. Ходи лімнорії

неглибокі, ~5мм, рідко 15мм від поверхні; довжина ходів становить 5-8см. Зруйновані шари змиваються водою й лімнорії вгризаються в наступні. Іноді лімнорії виїдають у палях як би дупла, так звані «казани».

Інтенсивність руйнування деревини лімнорією становить 1-2см у рік, але були випадки, коли за три-чотири роки спорудження було приведене в аварійний стан (Охотське море, бухта Нагаева). Лімнорія вражає деревину від супраліторалі (зона хвильового заплескоту) до глибини декількох десятків метрів.

Однак ракоподібні наносять ушкодження спорудженням у незмірно менших розмірах, ніж терединіди.

Лімнорії існують при солоності моря 10-35‰. Нормальний розвиток відбувається при солоності 15‰. Але при поступовому зниженні солоності лімнорія може розвиватися й при 5‰. Різкі коливання солоності згубні для лімнорії. Оптимальне значення температури води 10-15° С. Але в літературі є згадування про те, що лімнорії можуть розвиватися й при 0°С. Зараз встановлено, що тварини, що вживають дерево в їжу, - терединіди й лімнорії,- поселяються тільки на деревині, поверхня якої змінена хімічно й механічно завдяки дії руйнуючих целюлозу й лігнін бактерій і грибів. Дерево поставляє тваринам вуглеводи, гриби - білки й вітаміни. Зокрема, лімнорія поїдає міцелій грибів і в стерильній воді гине.

Найпоширенішим і практично прийнятним методом запобігання деревини гідротехнічних споруд від поразки деревоточцями є глибоке просочення деревини креозотом з токсичними добавками, мідними розчинами, зокрема, що містять окис міді й інших токсичних препаратів. Іноді дерев'яні палі містять у кожух з бетону, армований металевою сіткою.

Тут варто вказати, що в наш час гідротехнічні споруди з дерева будують тільки в північних портах (Архангельськ, Нарьян-Мар і ін.), де немає деревоточців. В інших басейнах, практично, дерево повністю витиснуто бетоном, залізобетоном і металом, що дозволяє здійснити широку індустріалізацію будівництва.

Поразки каменів і бетону. Каменеточці, тобто організми, що свердлять твердий субстрат, мають більш древнє походження, ніж деревоточці, тому що рослинна деревина з'явилася на Землі пізніше, ніж вивержені породи, які в основному й піддаються свердлінню.

До каменеточців відносяться як рослинні, так і тварини організми.

З рослинних організмів найбільше значення мають свердловальні мікроскопічні водорості, тому що вони широко поширені в зоні заплескоту, літоралі (зона припливно-відливних коливань) і субліторалі (зона існування водоростей - зона фотосинтезу).

Свердловальні водорості проробляють у твердих вапняках (м'яких вапняків водорості уникають, тому що вони є ненадійним притулком) тунелі довжиною 0.05-0.3мм і діаметром відповідно 0.006 і 0.015мм, розм'якшуючи вапняки хімічним шляхом і полегшуючи його подальше руйнування.

Широко поширені свердловальні губки, - особливо рід кліоне, - у Чорному (до 65м глибини), Баренцевому, Білому й далекосхідних морях.

Розчиняючи хімічним шляхом вапняні породи, кліоне проробляють невеликого діаметра, але глибокі, до 5см і більше, ходи, досить тісно розташовані. Ослаблений шар породи кришиться й розмивається під час штормів. Також як кліоне, хімічно руйнують вапняки дрібні багатощетинкові хробаки, зокрема, полідора- розповсюджена в Баренцевому, Балтійському, далекосхідних і Чорному морях до глибини ~30.0м.

Зі свердловальних ракоподібних відомий рід вусоногих раків - літотрія й види рівноногих раків з роду сферома, які проробляють ходи в м'яких вапняках, піщаниках і сланцях механічним шляхом. З літератури відомий випадок осаду молів у Новій Зеландії, зведених на кам'яній постелі з м'якого вапняку, що був сточений при масовому поселенні сфером і втратив свою міцність.

Велику шкоду наносять свердловальні двостулкові молюски. Спосіб свердління в основному механічний, за рідкісним винятком - хімічний; зокрема, хімічним способом проробляє ходи у вапняках молюск літофага - «морський фінік».

Зі свердловальних молюсків найбільш великими енергійно руйнуючими й найбільш поширеними є молюски із сімейства фоладових, які свердлять щільні мули, глини, мергелі, сланці; деякі види фоладових свердлять і тверді породи - мармур, гіпси. Довжина раковин різних видів фолад коливається від 3.0 до 7.5см. Фолади висвердлюють нори глибиною до 25-30см із діаметром вхідного отвору 1.0-1.5см. Число ходів становить до 2.0тис. отворів на квадратний метр і більше.

Цікавий спосіб руйнування вапняку молюском - фоладідеєю (пенітелюю): спочатку молюск розм'якшує породу хімічно, потім

розм'якшений шар зчищає механічним шляхом, роблячи два рухи стулок за 5 хв, просуваючись зі швидкістю 20мкм у день.

Свердлувальні молюски, зточуючи породи, послабляють їх і сприяють руйнуванню. Швидкість зниження дна при дії фолад становить кілька сантиметрів у рік. Для району м. Сочі, по Е. М. Лебедеву, розрахована величина швидкості руйнування становить 6-9 см/рік.

Руйнуючи підводну підставу в прибережній зоні, каменеточці сприяють утворенню зсувів і тим самим руйнуванню інженерних споруд. При цьому свердлувальні водорості, губки й дрібні хробаки грають більш значну роль, чим свердлувальні молюски.

У наших водах невідомі випадки ушкодження інженерних споруджень свердлувальними молюсками, але в літературі вказується, що свердлувальними молюсками були ушкоджені хвилеломи з вапняку в Плимутському порту, захисні бетонні покриття дерев'яних паль (США), бетонні споруди в Панамському каналі, у портах Сан-Франциско й Лос-Анджелеса, цегельні стіни Калькутських доків і ін. Дійові заходи проти ушкодження каменеточцями безпосередньо морських гідротехнічних споруджень дотепер не розроблені. Що ж стосується ушкодження кам'яних накидів і скельної підстави берегових обривів, то в першому випадку варто застосовувати камінь вивержених порід (граніт), у другому випадку вжити заходів до збереження шару гальки, що покриває корінні породи.

Обростання конструкцій. Обростання занурених у воду поверхонь іде у всіх водоймах і тим інтенсивніше, чим вище температура води в межах до 40°C. В обростанні беруть участь майже всі види безхребетних, усього більше 2000 видів, але більшість із них відіграють малу роль в обростанні гідротехнічних споруд. Число видів, що відносяться до основної маси обростань, порівняно невелике.

Спочатку на поверхню споруд осідають різні бактерії, які утворюють найтоншу бактеріальну плівку. На цю плівку осідають донні діатомові (мікроскопічні) водорості, що селяться в найбільш освітлених місцях. З вищих водоростей широко представлені зелені, синьозелені, що переважають у забруднених водах портових акваторій, червоні й бурі. Останні широко представлені в обростаннях паль, молів і буїв і дають десятки кілограмів біомаси на квадратний метр поверхні.



Заселення поверхні тваринними організмами відбувається в основному шляхом осідання личинок, як правило, навесні. Закріпившись на поверхні, личинки через якийсь час перетворюються в дорослі форми, які утворюють тваринне обростання.

Губки, так само як і найпростіші безхребетні, у наших морях відіграють невелику роль. З кишково-порожнинних, які майже завжди беруть участь в обростаннях, у морях СНД найбільше часто зустрічаються- гідроїди. Вони погано переносять забруднення води й тому в гаванях зустрічаються рідше. Найбільша шкода гідроїди приносять морським водозаборам, де утворюють войлоковидний шар потужністю до 10см і дають до  $10\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$  біомаси.

Багатощетинкові хробаки, головним чином, із сімейства серпулід, що мають хітинові або вапняні дуже міцно прикріплені до поверхні будиночки - трубки (у деяких видів довжиною до 1-5дм), зустрічаються в обростаннях всіх гідротехнічних споруд. Біомаса може досягати  $20\text{-}30\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$  і більше (Керченська протока, Красноводська затока).

Мшанки становлять особливий клас, типу червоподібних, живуть колоніально. У багатьох морських форм є зовнішній вапняний кістяк, загальний для всієї колонії. Дають до  $1\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$  біомаси. Деякі види мшанок легко переносять дуже сильне забруднення води, тому часто зустрічаються в акваторіях портів, наприклад, у Бакинській бухті, де через бруд нема інших обростателів.

У морях у багаторічному обростанні, як правило, представлені двостулкові молюски, які дуже часто створюють основну масу обростань, як по чисельності, так і по вазі біомаси (до  $100\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ ).

Найбільше часто в обростанні зустрічаються дрейсена, мідії, мітилястери. Дрейсена поширена від Чорного до Білого морів, у Каспійському і Аральському морях. Звичайно розміри цьоголіток - 8-10мм; максимальний розмір - до 40мм; біомаса становить  $6\text{-}8\text{кг}/\text{м}^2$ , іноді до  $15\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ .

Мідії беруть участь в обростанні всіх гідротехнічних споруд. Поширені в Балтійському, Баренцевому, Японському, Охотському, південній частині Берингова та Азовському морях. Великі екземпляри досягають у наших водах 12-15см, у тропіках бувають значно крупніші. Біомаса обростання з мідій досягає  $100\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ ,

Мітилястер - дрібний молюск, до 5-7мм, зустрічається серед обростань в Азовському й Каспійському морях. Може давати до  $40\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$  біомаси (південна частина Каспійського моря).

Найбільше значення в обростанні гідротехнічних споруд мають вусоногі раки, особливо «морський жолудь» - балянус і «морські качечки».

Балянус- є основним обростателем у Балтійськом, Чорному й Азовському морях, занесений через Волго-Донський канал у Каспійське море. Деякі види зустрічаються в північних і далекосхідних морях. Балянус має зовнішній вапняний кістяк звичайно конусоподібної форми, при вільному розвитку прикріплений до поверхні споруди. Великі екземпляри в наших морях досягають 40мм у висоту й таку ж величину в основі. Балянус селиться на палях, молах, буюх і дає до  $40\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$  біомаси.

«Морські качечки» прикріплюються до споруд стеблинкою довжиною до 5-10см, іноді до 50см, розмір голівки звичайно не перевищує 4-6см; селяться, головним чином, на буюх у всіх морях і океанах, крім - Льодовитого.

Велике значення в обростанні у всіх наших морях, крім- Азовського й Каспійського, мають колоніальні оболочники - асцидії, що утворюють кірку або нарости на поверхні споруд. Звичайно оболочники селяться на субстраті з інших організмів - першепоселенців і нерідко до осені душать і мідій, і балянусів.

У тропічних водах гідротехнічні споруди обростають кораловими поліпами (загін кишечнополостних), зокрема, мадрепоровими коралами, які є колоніальними тваринами.

Окремі особини (коралові поліпи) колоніальних форм мають розміри від 10 до 30мм. Основною частиною колонії є сильно розвитий вапняний кістяк, що приростає до субстрату. Мадрепорові корали живуть при мінімальній температурі води не нижче  $+20,5^{\circ}\text{C}$  и при солоності не нижче 35‰; тому глибина їхнього поширення обмежується 50-60м.

Звичайно поблизу урізу води й до глибини 1-3м селяться зелені водорості й балянуси. Це зона найбільш інтенсивного обростання. Нижче селяться гидроїди, асцидії, «морські качечки», мідії. Дуже часто обростання бувають змішаними. Іноді обростателі розташовуються в кілька шарів, створюючи оброст до декількох десятків сантиметрів. Інтенсивність

обростання залежить від кліматичних і місцевих умов і коливається в досить широких межах.

У наших морях найбільш потужні обростання розвиваються в Чорному морі, де вага біомаси досягає  $100\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$  і більше за рік. У Каспійському морі максимум обростання -  $40\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ , в Баренцевому морі обростання за рік становить  $1.5\text{-}2.0\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ . У портах Архангельськ та Нарьян-Мар, розташованих в гирлах рік Северной Двини та Печори, на дерев'яних сваях причалів взагалі окрім тонкої слизової плівки нема ніяких обростань.

У результаті обростання гідротехнічних споруд найчастіше спостерігається посилення корозії матеріалів. Обростання палі, крім корозії, викликає підвищення опору при обтіканні водою, що веде до перенапруги конструкції.

Обростання морських водозаборів веде до зниження витрати води й до зниження теплообміну охолоджуючих систем.

Зміна хімічного складу пристіночної води внаслідок життєдіяльності обростателів сприяє корозії матеріалів.

На поверхні бетону й металу серед інших бактерій виявляються активно діючі денітрофіцируючі бактерії, що окисляють нітрати до вільного азоту, і сульфатопоновлюючі бактерії, у результаті життєдіяльності яких може накопичуватися сірководень.

Азот активує поверхню металів і зрушує потенціал у негативну сторону, чим сприяє виникненню гальванічних пар. Особливо бурхливо бактерії розвиваються у вузьких щілинах, звідки їх не змивають потоки води; захисна плівка тут швидко руйнується, створюється гальванічна пара, у якій анодом служить поверхня щілини, де й починається корозія.

У процесі окислювання сірководню створюється кисле середовище, розвивається воднева деполяризація металу й потенціал зрушується в негативну сторону, що сприяє утворенню гальванічних пар і розвитку корозії.

Одночасна наявність бактерій зменшує концентрацію кисню й веде до зниження корозії.

Тваринне обростання знижує концентрацію кисню й підвищує концентрацію вуглекислоти, що веде до зниження швидкості корозії металів і збільшенню швидкості корозії бетону.

Рослинне обростання збільшує концентрацію кисню, що за певних умов веде до посилення корозії металів і зменшує кількість вільної вуглекислоти, а це приводить до зниження швидкості корозії бетону.

У природних умовах звичайно спостерігаються змішані обростання, має місце енергійне перемішування вод, і тому зазначені процеси діють одночасно, чим сильно ускладнюється дійсна картина явища.

У деяких випадках спостерігалися сильні руйнування бетону при обростанні мідіями, глибокі крапкові каверни на металі при обростанні баянусами, що, щоправда, пояснюється не тільки хімічною дією на метал продуктів їхньої життєдіяльності, але й утворенням гальванічної пари при нещільному їхньому прикріпленні до металу.

Поряд із цим є відомості про захисну дію суцільного тваринного обростання проти корозії металу й поразки дерева деревоточцями.

Однак у цілому обростання гідротехнічних споруд безсумнівно шкідливі й завдають збитки.

У той же час при розробці заходів боротьби з обростанням варто мати на увазі, що більшість обростателів приносять користь як седиментатори, фільтратори й породоутворювачі; зокрема, фільтратори очищують воду від хвороботворних мікробів і забруднень, донні водорості є первинними продуцентами кисню й органічних речовин і т.д. Тому придатні лише ті методи боротьби з обростаннями, які захищають тільки штучні споруди, але не знижують чисельності обростателів у природі.

У цей час для захисту бетонних і залізобетонних морських гідротехнічних споруд від морських обростань яких-небудь кардинальних засобів не розроблено. Металеві конструкції захищають від обростань, здійснюючи катодну поляризацію конструкції (див. вище).

З тих, що застосовуються на практиці, найкращим засобом захисту від обростання морських водозаборів і водоводів є промивання розчином пентахлорфенолята натрію з концентрацією  $1\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . Промивання розчином хлору з концентрацією  $0.25\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$  виходить дешевше, але спричиняє корозію металевих трубопроводів,[5].

## 5 ЗАХИСТ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ І КАНАЛІВ

При вирішенні питань захисту морських портів і каналів від заносимості й хвиль, важливу роль грає гідрологічний прогноз і розрахунок. Щорічні витрати на будівництво портових споруд і ремонтне землечерпання обчислюються багатьма мільйонами гривень. Саме гідрологи повинні встановити доцільність розміщення тої або іншої споруди в даному районі узбережжя. Потім вони визначають найкраще компонування, габарити й склад споруд. Невдалий вибір місця будівництва порту, необґрунтоване розташування огорожувальних споруд може з'явитися причиною несприятливого гідрологічного режиму й нераціональної витрати коштів на будівництво. Так, після завершення будівництва польського порту Хель хвильовий режим порту став більш важким: не були враховані дифракційні явища, відбиття хвиль і умови проникнення їх у порт. Порт Азовського моря виявився на одній з гірших ділянок узбережжя, тому що вибір місця порту був визначений на підставі докладних, але недостатньо добре проаналізованих даних гідрологічних досліджень. Підходи до порту інтенсивно заносяться, утруднюючи роботу транспорту. Є багато прикладів невдалого вибору трас і конструкції морських каналів, неправильного розрахунку вихідних елементів хвиль, впливу плинів і т.п. Шлях гідрологічного обґрунтування проекту - це проведення й аналіз досліджень прибережної зони.

### 5.1. Регулювання режиму хвилювання.

Захищеність обгороджуваної акваторії від хвиль тим вище, чим менше коефіцієнт дифракції, тобто відношення висоти хвилі в даному пункті до висоти хвилі при вторгненні її в порт. Коефіцієнт швидко зменшується при подовженні фронту хвиль у зоні дифракції й при повторенні цього явища, коли на шляху хвиль зустрічаються додаткові хвилеломі або пірси. Таким чином, завдання захисту акваторії від хвиль складається в одержанні низьких коефіцієнтів дифракції на більшій її частині.

Всі споруди порту в цілому являють собою як би дифракційну камеру, природно, що є майже незліченна кількість варіантів розташування її

елементів. Найбільш вигідне розташування споруд може бути зроблено тільки при належному вивченні дифракційних картин.

Крім того, порт може являти собою не тільки дифракційну камеру, але й при деяких умовах резонатор. Якщо період низькочастотних коливань моря, наприклад, 40-120 секунд (тягуни), досить розповсюджений на даній ділянці узбережжя, то планові розміри окремих елементів порту не повинні сприяти таким коливанням. У противному випадку варто влаштовувати додаткові пірси, хвилеломи поділяючи акваторію порту спорудами або, навпаки подовжити розміри акваторії, щоб вона не була ефективним резонатором.

Наступною, дуже важливою вимогою, є виключення несприятливої інтерференції хвиль, особливо при вході в порт. Оптимальний варіант, це коли хвильові промені падаючих і відбитих хвиль, не перетинаються. У цілому ряду чорноморських портів спостерігається несприятлива інтерференція хвиль при вході в порт. В окремих випадках така інтерференція хвиль (товкотнеча, бовтанка) може виникати в межах самої акваторії, якщо вона погано захищена.

Що стосується впливу хвиль і штормових течій на споруди, то варто мати на увазі наступне. Під час сильних штормів, при яких може збігатися напрямок вітру й хвиль, останні не повинні руйнуватися безпосередньо перед стінкою, а це значить, що глибина її розміщення не повинна перевищувати  $(1-2)h$ , де  $h$  - висота штормових хвиль у районі споруди. Якщо ж хвилі руйнуються біля стінки, то внаслідок великих швидкостей руху рідини (більше  $14\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) порушується суцільність останньої і створюється явище, подібне кавітації. Для нього характерне різке зростання локального тиску, яке суповоджується міцним ударом і звуковим ефектом.

Хвилеломи з накидних масивів розглядаються як глухі стінки, хоча це не точно - почасти вони працюють як наскрізні споруди.

Варто пам'ятати, що глибина розмиву дна  $H_p$ , визначена біля споруди, не повинна перевершувати фактичну глибину. У противному випадку останню варто збільшити або влаштувати кам'яне підсипання. Кут підходу бурунного фронту хвиль і місце його руйнування щодо стінки повинні бути запроектовані так, щоб не виникали небезпечні штормові течії. Якщо, наприклад, хвилі будуть руйнуватися біля стінок, підходячи до них під кутом  $40-45^\circ$ , то неминуче виникнуть імпульсивні течії, швидкості яких будуть

значні -  $6-10\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Такі великі швидкості можуть з'явитися причиною розмиву ґрунту й руйнації споруди.

## 5.2. Регулювання режиму руху наносів.

Будівництво споруд у прибережних водах моря неодмінно викличе зміна режиму руху наносів. В одних випадках ця зміна може виявитися сприятливою, в інших - несподіванною і шкідливою. Сприятливий вплив може полягати в тім, що обгороджувана територія, або морський канал не будуть заноситися; навпаки, іноді можливий помірний розмив каналів. Шкідливий вплив споруд найчастіше пов'язаний з посиленням заносимості об'єктів або з появою небезпечних розмивів дна й берегів. У ряді випадків потрібно нарощувати пляжі для захисту берегового кліфу або для використання їх у курортних цілях.

Дослідження впливу споруд на режим руху морських наносів досить обмежені. Все-таки можна намітити наступну орієнтовну картину регулювання наносів на береговій обмілині.

Насамперед, необхідно звернути увагу на розподіл потоку наносів уздовж заглибленого й відмілого берегів при різній силі хвилювання. На заглибленому узбережжі буде потрібен мол, порівняно невеликої довжини, щоб перекрити основний транзитний вздовжбереговий потік наносів. Зовсім інша картина буде спостерігатися в мілководній зоні. Тут короткий мол, у період сильних штормів не буде істотно впливати на рух наносів. Щоб перекрити основну зону їхнього руху, необхідно значно висунути голову споруди за межі району найбільшого дефіциту глибин. Цей район збігається як з районом найбільш інтенсивного руху наносів, так і з областю найбільш потужного забуруннювання хвиль.

У міру нагромадження наносів з навітряної сторони молу, тобто з тої сторони, звідки спрямований наносрушійший фактор, зона забуруннювання буде висуватися убік моря. Таким чином, ще до заповнення навітряного кута наносами, їхній потік піде в обхід споруди. Переміщення зони забуруннювання пояснюється в цьому випадку загальним обмілінням прибережжя, що й приводить до більше раннього руйнування хвиль. Подібна картина на приглубому узбережжі не спостерігається або ледь помітна.

Можна зробити висновок, залежно від довжини молу: для короткого молу й слабого шторму характерна перевага заносимості навітряного кута, а для довгого молу й сильного шторму - підвітряного. Мол, при тому самому напрямку хвилювання по-різному впливає на потік наносів залежно від потужності шторму.

Ще більше регулюючий вплив молу міняється при зміні напрямку хвилювання. Короткі буні, застосовані для зміцнення берегів, будуть, як правило, заноситися з навітряної сторони, оскільки вони перекривають весь вздовжбереговий потік наносів у період переважного слабого хвилювання. Але під час сильного шторму їх пляженакопичувальна діяльність змінює свій характер. Можуть спостерігатися розмиви пляжу в навітряному куті або заміна дрібного матеріалу більшим.

Вся картина відкладення й розмиву ґрунту в навітряному й підвітряному кутах майже повністю відноситься й до парних молів. Найбільший інтерес тут представляє наносний режим на підходах до порту й на його акваторії, утвореної молами.

При наявності значних вздовжберегових штормових течій у районі розташування серії бун найчастіше спостерігається відкладення наносів з тіньової, щодо напрямку течії, сторони. Незахищені ділянки берега розмиваються. Варто мати на увазі, що ефект розмиву від сильної течії може перевершити вплив хвильового режиму й у всякому разі завжди повинен ураховуватися.

Узагальнюючи результати спостереження наносного режиму, можна відзначити:

- розриви у хвилеломах, що дозволяють проникати частині наносів на акваторію порту, підсилюють її заносимість, оскільки в межах порту хвилювання значно слабкіше. Ослаблення хвилювання негайно приводить до зменшення середньої мутності потоку. Надлишок наносів осідає на дно;

- точно така ж картина буде спостерігатися при блокуванні берега хвилеломом. За хвилеломом висота хвиль і донні компоненти швидкості виявляться різко зменшеними, це приводить до ослаблення зважування наносів і до масового їхнього осадження. Таким чином, улаштувати порт за допомогою зведення хвилелому на розмивній обмілині недоцільно. Але, якщо розташувати паралельно берегу хвилелом поперед навітряного молу, то



утвориться значна зона дифракції й осадження наносів, розташована саме на шляху найбільш потужного штормового вздовжберегового руху наносів;

-моли повинні обов'язково примикати до берега. Пристрій проникних молів у районах інтенсивного вздовжберегового руху наносів неприпустимо. Дійсно, якщо наноси проникають через наскрізні спорудження на обгороджену акваторію, вони обов'язково будуть випадати на дно. Якщо корінь буни погано забитий у береговий укiс, то при ушкодженні його виникають дуже сильні плини, здатні глибоко розмити берег. Це пояснюється тим, що при розбіжності напрямку вітру й хвиль із віссю буни утвориться нагін з навітряної й згін з підвітряної сторони буни й створюється із двох сторін її досить велика різниця рівнів, що обумовлює сильний плин, що розмиває;

-висування навітряного хвилелому може викликати відкладення наносів у тіньовій зоні дифракції, оскільки в ній не буде підтримуватися висока мутність потоку. Те ж саме, але з іншої причини спостерігається й при відхиленні потоку наносів на більші глибини, де придонні компоненти швидкості хвильових рухів і усереднена мутність незначні [5,7].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Слевич С.Б. Шельф : освоение, использование. Л., Гидрометеиздат, 1977. 240с.
2. Океанографическая энциклопедия. Пер. с англ. Л., Гидрометеиздат, 1974. 631с.
3. Лосев К.С. Вода. Л., Гидрометеиздат, 1989. 272с.
4. Шлыгин И.А. Популярная гидрометеорология и судовождение. М., "Транспорт", 1987. 192с.
5. Смирнов Г.Н. Океанология. М., "Высшая школа" 1987. 407с.
6. Пересыпкин В.И. Учет приливных колебаний при гидрографических исследованиях. Л., Гидрометеиздат, 1966. 103с.
7. Степанов И.А. Расчет гашения волнения в портах и аванпортах. Труды ЛИВТа, вып. 13, "Речной транспорт", 1961. 123с.