

**О.О ДАНИЛЕНКО**  
**ДИНАМІКА ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**О.О. ДАНИЛЕНКО**  
**ДИНАМІКА ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ**  
(конспект лекцій)

ОДЕСА- 2005

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП .....	5
Лекція 1.....	6
1.1 Історія гідрографічних досліджень на Чорному морі.....	6
Лекція 2.....	12
2.1 Завдання гідрографії.....	
2.2 Деякі небезпечності рельєфу морського дна і визначення термінів форм берегової лінії.....	13
2.3 Порядок проведення гідрографічних досліджень у Чорному та Азовському морях.....	15
Лекція 3.....	22
3.1 Рельєф морського дна.....	22
3.2 Ґрунти дна, характеристика наносів.....	22
3.3 Головні елементи прибережної зони.....	23
Лекція 4.....	29
4.1 Загальні уявлення про рух морських наносів у прибережній зоні.....	29
Лекція 5.....	34
5.1 Поперечне переміщення наносів.....	34
5.2 Вплив донної течії.....	38
5.3 Залежність характеру руху часток від їх крупності.....	40
Лекція 6.....	43
6.1 Змінення режиму руху наносів та профілю рівноваги в залежності від сили хвилювання.....	43
6.2 При послабленні хвилювання.....	43
6.3 При зростанні сили хвилювання.....	44
6.4 Вплив крутизни хвиль.....	45
Лекція 7.....	46
7.1 Рух мілких піщаних наносів.....	46
7.2 Теоретичні уявлення.....	47
7.3 Натурні спостереження.....	48

Лекція 8.....	49
8.1 Подовжнє переміщення наносів.....	49
8.2 Косий підхід хвиль.....	49
8.3 Переміщення донних наносів.....	54
8.4 Головні властивості потоку наносів.....	56
Лекція 9.....	58
9.1 Вплив коливань рівня моря на переміщення наносів і формування берегів.....	58
9.2 Специфіка процесів у припливних морях та при згоні - нагоні.....	58
Лекція 10.....	59
10.1 Елементарні акумулятивні форми.....	60
10.2 Профіль абразійного берега.....	62
Література.....	65

## ВСТУП

Найважливішими гідрологічними чинниками, які обумовлюють динаміку узбережжя та прибережної зони, є перш за все такі динамічні процеси, як трансформація хвиль, розвиток прибережних течій, коливання рівня. Наслідком їх дії та взаємодії є рух наносів, і далі - переформування берегів та примикаючої до них відмілини.

Рух наносів має різні фази; зрив часток ґрунту дна, транспортування і відкладення. Внаслідок таких процесів окремі зони берегової відмілини будуть розмиватися, інші ж можуть ще більше обміліти, також і берег - в одному місці буде розмиватися (абразія), а в іншому наміватися (аккумуляція).

Без урахування характеру і інтенсивності руху наносів неможливе вивчення процесів змінення прибережної зони та берегів - а саме вона і є головною сферою інтересів, досліджень та работ гідрографії, тому що тут будуються порти, прокладаються морські канали, і взагалі, найбільш інтенсивне судноплавство, безпеку якого необхідно постійно підтримувати.

# ЛЕКЦІЯ 1

## (вступна)

### 1.1 Історія гідрографічних досліджень на Чорному морі.

Планові гідрографічні дослідження Чорного моря і його картографування на науковій основі того часу почали російські моряки на межі 17-18 століть. Для забезпечення мореплавства та бойових дій кораблів флоту перші гідрографічні роботи почалися у 1696р. при здобутті Азову. Вони виконувались командирами та штурманами військового флоту, у ті часи не було поділу морських офіцерів на гідрографів і негідрографів - кожний мореплавець вважав своїм обов'язком зробити внесок в справу вивчення морського театру.

У 1699р. під керівництвом віце-адмірала Крюйса у присутності і при безпосередній участі Петра I була проведена гідрографічна зйомка ріки Дон від Воронежу до Азова. Звіт про роботу був виданий в Амстердамі в 1704р. на російській та голландській мовах, а у кінці книги були прикладені креслення Азовського і Чорного морів, скопійовані з іноземних карт. Це видання було першим російським морським атласом, а карта Чорного моря - перша його російська карта. Атлас складався з 17 карт з докладними описами, а на одній карті навіть було поміщено проект каналу між Доном та Волгою.

Перші російські гідрографічні роботи на Чорному морі були проведені у серпні 1699р. під час плавання корабля „Крепость” з послом Українцевим у Константинополь. Після повернення, у 1704р. в Москві була надрукована карта, яка називалась „Прямой чертеж Черного моря от Керчи до Царьграда”. Були також видані вигравійовані на одному листі види берегів Азовського та Чорного морів. Крім того, на карті було розміщено врізку протоки Босфор з глибинами на фарватері.

Систематичні роботи по дослідженню Чорного моря почалися після завершення перемогою російсько-турецької війни 1768-1774рр. За умовами мирного договору, до Росії перейшли Керч і Єнікале у Криму, Кінбурн на березі Дніпровського лиману. Чорноморська флотилія спочатку базувалась у Дніпровському лимані і всі роботи по розбудові майбутнього порту Херсон почалися в 1775р. з виконання промірних робіт. Херсон засновано в 1778р. - це була перша кораблебудівна база на півдні Росії.

В 1773р. на берега Севастопольської бухти прибула з Балаклави „описная партия" на голові з штурманом Батуріним. Була виготовлена перша карта бухти - „Карта Ахтиярской гавани с промером".

Першою турботою гідрографів на Чорному морі було вивчення можливих місць базування кораблів, якірних стоянок, прибережних районів і, перш за все, промір глибин. Одночасно виконувався, так званий, морський опис - нанесення контурів берегів на карти, визначення і замальовка примітних орієнтирів на узбережжі для визначення місця корабля у морі.

У 1782р. в Севастопольську бухту прибули два фрегати і zostались на першу зимівлю. За час стоянки були проведені проміри, опис бухти, складена карта. У 1783р. в Ахтиярську бухту увійшла ескадра і в цьому ж році капітан-лейтенант Берсенєв уточнює проміри. Ці роботи послуговували при прийнятті рішення про будівництво Севастополя та порту.

Перший опис Одеської (Гаджибейської) затоки було складено у 1793р.

Кінець 18 століття і перша чверть 19 відзначаються інтенсивними гідрографічними роботами, переважно у північній та західній частинах моря. Прискореному виданню карт сприяло створення у 1803р. у Миколаїві, де у той час знаходилось управління Чорноморським флотом, спеціального депо карт.

Первісними завданнями депо було збір і збереження навігаційних карт і журналів морських описів, але в подальшому його функції розширились — воно почало займатись складанням і виданням карт, а також постачанням їх на кораблі.

У 1799р. було видано атлас карт північного берега Чорного моря від Дніпра до Кубані капітана Білінгса (учасника однієї з колосвітових експедицій Кука), у 1807р. - генеральна карта Чорного та Азовського морів. У 1817р. вона була перевидана, з урахуванням усіх виконаних на той час зйомок. Положення берегів на ній близьке до дійсного, окремі помилки не перевищували 5 миль. У 1816 році Белінсгаузен під час крейсерування уздовж берегів Кавказу виконав опис та визначив астрономічно місцезнаходження низки населених пунктів і мисів. Робота отримала високу оцінку і в 1819р. він повинен був її подовжити по усім головним пунктам Чорного моря. Але його чекало інше призначення - експедиція до шостого континенту і в історію.

У 1820р. на Чорному морі працювала спільна російське-французська експедиція, в якій приймав участь капітан-лейтенант Берх - згодом перший начальник Гідрографічної служби Черноморського флоту, заснованої у 1832р. Підсумком багаторічної роботи російських гідрографів стала карта Чорного та Азовського морів 1829р. видання.

Наступним етапом гідрографічного вивчення Чорного моря виявилась багаторічна робота Манганарі — у 1825-1836рр. він обійшов на кораблях навколо усього моря та пішки по усіх берегах, окрім турецьких. Підсумком цієї роботи став знаменитий „Атлас Чорного моря”, виданий в Миколаїві в 1841 році. Цей атлас був першим систематичним описом моря. До нього увійшли 28 карт різних масштабів - від генеральної до планів. На них докладно зображена берегова лінія, рельєф місцевості, ізобати, ґрунти, магнітне схилення, маяки. Цінність цього атласу збільшили малюнки берегів, виконаних академіком Кухаревським. Вони не втратили свого значення до наших часів.



Деякі малюнки переходили з лоції в лоцію і перевидавались майже до сьогодні.

Важливим етапом у роботі чорноморських гідрографів стало створення лоції моря. З метою зібрання докладних і сучасних даних для лоції, за вказівкою Лазарева, була проведена експедиція у 1847-1851рр. Підсумком її роботи стала видана у 1851р. в Миколаїв! перша російська „Лоція Чорного моря“, яка відповідала усім вимогам того часу. З того часу вона регулярно перевидається з необхідними доповненнями і змінами.

У 1862-1864рр. був виконаний докладний промір і опис Одеського порту.

У 1868р. була створена комплексна експедиція по вивченню траси міжнародного телеграфного кабелю Лондон-Індія. По Чорному морю вона пролягала від Феодосії до Сухумі. Вперше були виміряні глибини 800-1000м з застосуванням лебідки, розробленої російським вченим-фізиком Ленцем. Крім того, відбирались проби ґрунту, вимірювалась солоність та температура води на глибинах.

У 70-і роки 19 сторіччя починає комплексні дослідження Чорного моря спеціально створена гідрографічна експедиція під керівництвом відомого гідрографа Зарудного. Крім промірних робіт, виконувались магнітні вимірювання, вперше — постійні рівневі спостереження. У 1882р. вперше проводились на морі дослідження магнітної аномалії у районі Одеси. У 1882-1883рр. Макаров провів дослідження протитечій у Босфорі, а у 1890-1891рр. на Чорному морі була проведена перша океанографічна експедиція під керівництвом відомого вченого Шпіндлера, у якій приймав участь хімік Зелінський - у майбутньому відомий вчений, академік. Був виявлений сірководень на глибинах більше 200м.

Після революції 1917р. гідрологічна служба мала назву „Управління по забезпеченню безпеки кораблеводіння на Чорному та Азовському морях“. Навіть у часи громадянської війни виконувались вкрай необхідні роботи.

У 1919р. під керівництвом професора Орлова було проведено точне нівелювання футштоків і берегових марок у Одеському порту. Орлов став і першим начальником першого радянського гідрографічного загону. До 1928р. цей загін базувався в Одесі і виконав значні геодезичні роботи в північно-західній частині моря, одночасно відновлюючи зламані триангуляційні пункти.

У 1932р. була виконана перша аерофотозйомка на потребу гідрографії, а у 1935р. - перше гідрографічне тралення. У ці ж роки заново була прокладена триангуляційна мережа по усьому радянському узбережжю. У передвоєнні роки проводились масштабні океанографічні дослідження. З 1922 по 1927рр. під керівництвом академіка Кніповича працювала Азово-Чорноморська науково-промислова експедиція. У 1924-1928рр. вивченням Чорного моря займалась спеціально створена океанографічна експедиція під керівництвом президента Географічного товариства СРСР академіка Шокальського. Ці роботи були продовжені Севастопольською морською обсерваторією під керівництвом Сніжинського, і вперше у світовій практиці були отримані проби ґрунту - п'ятиметрові колонки, з використанням великої ґрунтової трубки.

Кримський землетрус 1927р., у значній мірі змінивши рельєф дна у Криму, вимусив провести докладні промірні роботи та геологічні дослідження.

У повоєнний час поява великотоннажних суден з великою осадкою поставила вимогу суцільного обстеження та вивчення портових та прилеглих територій до глибин 25-30м. Це і було виконано з використанням сучасних засобів ехотралення. Необхідні обслідування рельєфу дна по територіям проводились при будівництві нових великих портів. Як і сторіччя тому - побудова порту починається і закінчується промірними роботами. Весь час ведеться систематичний контроль за дотриманням на морських каналах заявлених глибини та ширини.

На допомогу судноводіям при визначенні місця по радіолокатору було виконано радіолокаційний опис берегів Чорного моря — так звана радіолокаційна лоція.

Інтенсивне будівництво на березі моря змінює його вид і потребує постійної коректури карт та лоцій.

У останні десятиріччя означився новий напрямок в науках про море - динаміка берегової зони. Засновником його, як у теоретичному плані, так і практично став на Чорному морі професор Зенкович. Невдовзі після закінчення Великої Вітчизняної Війни була проведена семирічна експедиція по радянським берегам, яка заклала початок вивченню берегів та засобам їх захисту від руйнування. Природні процеси руйнації прискорили роботи по відборі піску та гальки з пляжів і морського дна, зменшення інтенсивного виносу ґрунтів річками за рахунок будівництва на них гідроспоруд. Негативну роль зіграло також невдале розміщення хвилеломів, які не захистили береги, а лише прискорили їх ерозію [1].

## ЛЕКЦІЯ 2

1. Завдання гідрографії.
2. Деякі небезпечності рельєфу морського дна і визначення термінів форм берегової лінії.
3. Порядок проведення гідрографічних досліджень у Чорному та Азовському морях.
  - а. Загальна (докладна, детальна) зйомка рельєфу способом проміру;
  - б. Топографічна та геодезична зйомка;
  - в. Морська ґрунтова зйомка;
  - г. Гідрографічне тралення;
  - д. Гідрографічне ехотралення;
  - е. Маршрутний промір.

### 2.1 Завдання гідрографії

В завдання спеціальної наукової дисципліни - гідрографії входить вивчення рельєфу дна морів та океанів, характеру ґрунтів, промір глибин, зйомка берегової лінії континентів та островів, їх докладний опис. Отриманні дані необхідні для створення морських навігаційних карт різних масштабів і призначень, або, іншими словами, картографування морської поверхні. На базі гідрографічних матеріалів складаються різні описи, які являють собою керівництва для плавання, лоції, описи рекомендованих для плавання курсів, всілякі таблиці для виконання розрахунків на судні при обчисленні штурманом місця судна в морі по зіркам, береговим відзнакам, за допомогою радіолокаційних засобів, у тому числі і космічних, чи по счисленню.

Крім того, гідрографи займаються спорудою спеціальних засобів навігаційного огородження, а також розрахунком їх місцезнаходження, підтримкою їх у постійному робочому стані.

Мінливі природні умови та діяльність людей викликають необхідність постійно проводити відповідні роботи в морі з метою оновлення навігаційних карт і керівництв для плавання. Виконувати переміщення старих або розміщувати нові засоби навігаційного обладнання та своєчасно попереджати про ці зміни мореплавців. Крім того, до завдань гідрографічної служби входить обслуговування та ремонт судових навігаційних приладів (компасів, ехолотів, лагів, автопрокладчиків курсу, та інших).

## 2.2. Деякі небезпечності рельєфу морського дна і визначення термінів форм берегової лінії.

Навігаційні небезпечності можна поділити на дві групи:

- постійно існуючі небезпечності рельєфу морського дна, льоду, затоплені судна;
- тимчасові, створюються гідрометеорологічними факторами, а також мінні загородження, буї, бочки, затоплені суда і дерева, риболовецькі сітки, тощо.

Для небезпечностей рельєфу морського дна є прийняті, або усталені у міжнародній практиці терміни і означення, що використовуються у практиці гідрографічних досліджень та при навігаційному забезпеченні мореплавства.

До них відносяться:

- 1 - мілина (мілизна) - підняття на шельфі, глибини над якими малі порівняно з оточуючими. Формуються найчастіше під дією течії. Небезпечними вважаються ті мілини, глибини над якими менше 20 м.
- 2 - відмілина - це мілина, яка простягається від берега і глибини над нею поступово зростають від берега до моря.
- 3 - банка - ізольоване і обмежене по площині різке підняття морського дна. Небезпечна для мореплавства глибина менше 20 м.

4 - бар - мілина чи низка мілин, які відокремлюють гирло ріки від моря. Іноді баром називають мілину, яка розташована поперек входу до затоки.

5 - риф - небезпечне для мореплавства підводне підняття морського дна зі скальним ґрунтом або скопиченням підводних каменів.

6 - шхери - скопичення багатьох островів різного розміру, надводних та підводних скель, каменів в прибережному водному просторі.

7 - фіорд - довга і вузька морська затока переважно з високими стрімкими берегами.

8 - затока (бухта) - частина океану чи моря, що заходить у сушу. З обох боків затоку захищають від хвиль острови або миси.

9 - фарватер - безпечний для плавання суден шлях серед різного роду перепон, вказаний на карті і звичайно позначений засобами навігаційного обладнання (ЗНО).

10 - рейд - ділянка водного простору біля берега чи серед островів, розташована звичайно перед портом, гаванню, приморським населеним пунктом чи гирлом ріки

Використовується для відстою, а в деяких випадках для перевантаження суден. Рейди бувають відкриті і закриті. Вимоги до рейдової стоянки - добрий ґрунт, достатні глибини, вільний вхід з моря.

11 - гавань - частина акваторії, захищена від хвиль, оточена територією порту й призначена для стоянки суден та вантажних операцій.

12 - морський канал - канал, штучно проритий у морському дні для проходу суден через мілководдя, позначений ЗНО.

13 - аванпорт - рейд за межами або всередині акваторії порту, захищений молами, хвилерізами або маючий природний захист.

### 2.3. Порядок проведення гідрографічних досліджень у Чорному та Азовському морях.

Гідрографічні дослідження, це дослідження, що включають в себе загальну, докладну та детальну зйомку рельєфа дна засобом проміру, маршрутний промір, гідрографічне тралення, ґрунтову зйомку, геодезичні роботи, топографічну зйомку, збір зведень для коректури по місцевості навігаційних карт та посібників для плавання. Гідрографічні роботи здійснюються також для створення нових морських навігаційних карт, лоцій, керівництв для плавання.

#### а. Загальна (докладна, детальна) зйомка рельєфу дна способом проміру.

Гідрографічні роботи повинні виконуватися згідно з вимогами „Правил гідрографічної служби №4. Зйомка рельєфу дна" і містять у собі:

- навігаційно-гідрографічній опис району. Навігаційно - гідрографічний опис повинен мати інформацію про наявність портів або портопунктів, інформації. Проглибини та рельєф дна морського району, наявність у районі обмілин та інших навігаційних небезпек і відомості про ці небезпеки та їх координати, наявність у районі внутрішніх та зовнішніх рейдів, якірних стоянок, дані про останні проведення днопоглиблювальних робіт, характеристику ґрунтів в районі обстеження, характеристики узбережжя(берегові риси, наявності рослинності, примітних пунктів), відомості про наявні берегові та плавучі засоби навігаційно-гідрографічного забезпечення у районі гідрографічних робіт ( маяків, навігаційних знаків, плавучих застережних знаків);
- часову основу для проведення гідрографічних робіт відносно Всесвітнього часу;
- планову основу проміру з визначенням координат пунктів аналітичної мережі;

- координати пунктів для встановлення базових станцій;
- висотну оцінку тимчасових рівневих постів ( вказується система координат та система висот );
- технічні засоби гідрографічних вимірів і обробки даних.

#### б. Топографічна та геодезична зйомка.

Виконання топографічних та геодезичних робіт з метою забезпечення планової основи проміру та складання великомасштабних планів бухт, портів, гаваней, рейдів, гирлових ділянок рік і каналів повинно здійснюватися як правило, відповідно до технічного завдання (проекту).

Топографічна та геодезична зйомки повинні виконуватися за вимогами ПГС №36 „ Инструкции по топографической съемке береговой полосы морей, озер, рек и водохранилищ в масштабах 1:10000 й 1:25000 (ИТС - 73 )" та „ Инструкции по гидрографическим работам для составления морских планов в масштабах 1:5000,1:2000,1:1000 й 1:500 (ИКР - 71)". Вибір масштабу топографічної зйомки здійснюється залежно від складності рельєфу дна і характеру берега.

Планове і висотне обґрунтування проміру і зйомки повинно будуватися як самостійний опір у місцевій системі координат і складатися з пунктів полігонометричних ходів або аналітичних мереж, пунктів геометричного і тригонометричного нівелювання. Опорна мережа в місцевій системі повинна включати всі пункти попередніх геодезичних мереж у межах ділянки робіт, що по своєму розташуванні необхідні для виконання зйомки на даній ділянці. При обчисленні остаточних координат створеної опорної мережі за вихідні слід приймати ці пункти державної геодезичної мережі і робочого обґрунтування в загальнодержавній системі координат. Це дозволить одержувати координати планової основи не в місцевій системі, а безпосередньо в загальнодержавній системі координат без додаткової прив'язки й орієнтування.



Висотні оцінки слід обчислювати у Балтійській системі.

Топографічна зйомка для складання планів у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500 повинна виконуватися в межах берегової смуги шириною не менш 100 - 300м методами мензульної, тахеометричної або комбінованої аерофототопографічної зйомки. Якщо район робіт забезпечений топографічними картами і планами, придатними для цілей морської картографії, то може призначатися зйомка тільки берегової лінії й окремих елементів прибережної ситуації (берегового обриву, пляжу, виходів під'їзних колій до укріплених ділянок берега, причалів і пірсів, окремих каменів, скель рифів, паль й інших навігаційних перешкод у прибережній зоні акваторії) з метою зведення контурів і рельєфу прибережної смуги суші, показаної на наявних картах і планах з даними проведеної зйомки.

Знімальні планшети слід складати в тій самій проекції і з тими самими розмірами рамок, що і промірні планшети.

#### в. Морська ґрунтова зйомка.

Морська ґрунтова зйомка виконується з метою вивчення характеристик донних ґрунтів для їх використання при складанні і коректурі карт ґрунтів морського дна, а також навігаційних морських карт і посібників.

Залежно від вивченості району і мети досліджень морська ґрунтова зйомка поділяється на загальну, докладну або детальну зйомку.

Дослідження ґрунтів дна в морях і океанах повинні проводитися шляхом послідовного виконання загальної, докладної і детальної зйомок. В окремих випадках докладна і детальна зйомки можуть виконуватися самостійно, без опори на результати загальної зйомки.

Морська ґрунтова зйомка здійснюється за технічним завданням і методичними вказівками, що містяться у „Правилах гідрографічної служби №8.

Морська ґрунтова зйомка" та „Правилах гідрографічної служби №4. Зйомка рельєфу дна, Частина 1. Основні положення" і „Правила гідрографічної служби №4. Зйомка рельєфу дна, Частина 2. Вимоги та методи"

Детальна морська ґрунтова зйомка повинна виконуватися відповідно до технічного завдання. Подробиці зйомки характеризуються відстанями між галсами а також відстанями між ґрунтовими станціями. Середня квадратична похибка положення ґрунтових станцій не повинна перевищувати середню квадратичну похибку положення глибин, яку необхідно розраховувати для даного району і типу зйомки згідно з ПГС №4.

У результаті проведення морської ґрунтової зйомки для складання і коректури карт ґрунтів морського дна, необхідно отримати наступні характеристики ґрунтів дна:

- тип;
- колір;
- консистенція;
- речовинний склад;
- включення;
- стратифікація (потужність осадових порід);
- гранулометричний склад;
- природна вологість;
- об'ємна маса і щільність;
- пористість;
- число пластичності;
- коефіцієнт консистенції.

Планування виконання морської ґрунтової зйомки і обробка матеріалів повинні бути тісно ув'язані з вивченням рельєфу дна і геофізичних полів. Морську ґрунтову зйомку варто виконувати після завершення зйомки рельєфу дна в даному районі або одночасно з нею. Доцільно також, залежно від вивченості району і наявності сил і засобів, одночасно з ґрунтовою зйомкою виконувати гравіметричну і (або) магнітну зйомки.

## г. Гідрографічне тралення.

Гідрографічним траленням називається проведення спеціальної операції по визначенню гарантованої глибини, не меншої ніж глибина тралення, в межах району, що обстежується, для безумовного вільного проходу суден, які мають осадку не більше за глибину тралення.

При підготовці вихідних даних для розробки технічного завдання на проведення гідрографічного тралення здійснюється збір і узагальнення матеріалів вивченості по району досліджень метою призначення (уточнення) подробиць виконання та вибору технічних засобів збору й узагальненню підлягають картографічні й описові матеріали з глибин та рельєфу дна в районі проведення робіт.

Гідрографічне тралення здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв - механічних гідрографічних тралів, які являють собою тверді або гнучкі пристрої, що буксують гідрографічним судном на заданій глибині тралення.

Відсутність в зоні дії трала, тобто в шарах води від поверхні до рівня занурення гідрографічного трала (глибина тралення), підводних небезпек (перешкод) повинно визначатися по вільному проходженню трала. У випадках, коли він зустрічає на своєму шляху підводну перешкоду, трал затримується на ній і таким чином визначає наявність підводних перешкод. Для визначення гарантованої найменшої глибини тралення гідрографічне тралення продовжують методом послідовного зменшення заглиблення трала та повторення операції до тих пір, поки трал пройде над усім районом обстеження без торкання за підводні перешкоди. Місце торкання трала об підводну небезпеку (перешкоду) необхідно визначити за переміщенням віхи або буйка, що автоматично скидаються.

#### д. Гідрографічне ехотралення.

Гідрографічне ехотралення здійснюється з метою вивчення за показаннями ехотрала (ехолота) підводних скель, банок, рифів, затонулих суден, підводних штучних споруд та інших підводних перешкод, що знижують безпеку мореплавства в маловивчених або у стиснених для плавання районах. Причому, суттєвою відмінністю глибин вважається значення глибин, що відрізняється більше як на 10% від показанеє на карті глибини при плавному рельєфі, та більше як на 30% при складному рельєфі та на середньо - океанічних хребтах.

При виявленні у процесі гідрографічного ехотралення підводних небезпек з суттєвою відмінністю глибин необхідно негайно визначити місцезнаходження судна найбільш точним способом та перевірити цього іншим незалежним способом, який хоч і менш точний, але дозволяє виявити відсутність помилки (промаху). Якщо при ехотраленні виявлено глибини, менші за 20м, що показані на картах як значно більші глибини, перевірку цих глибин бажано здійснити і ручним лотом.

Фіксацію підводних небезпек слід здійснювати на ехограмі ехотрала (ехолота). Запис глибин необхідно вести на найбільш великомасштабному діапазоні (з урахуванням фази) та обов'язковою перевіркою відсутності промахів у дрібномасштабному (оглядовому) діапазоні. Контрольний запис на оглядовому діапазоні повинен здійснюватися на початку вимірювань, наприкінці вимірювань, при зміні діапазонів і мати подовженість від 3 до 5мм. Перед початком вимірювань ехограму заносяться такі дані: назва ГС (катера), район визначення гідрографічного ехотралення, марка ехолота, заглиблення вібраторів в ехолота.

#### с. Маршрутний промір.

Маршрутний називається промір, що проводиться по шляху проходження судна.

Він є одним з головних способів гідрографічного вивчення рельєфу дна і основним джерелом інформації для поповнення морських карт на відкриті частині океану.

Маршрутний промір повинен здійснюватися шляхом безупинної реєстрації глибин і визначення судна на промірному галсі, по можливості, найбільш точним методом.

При виконанні маршрутного проміру необхідно обстежувати:

- знову виявлені відмітні глибини
- відмітні глибини і навігаційні небезпеки з написами „ІС", "ПД", позначені на карті поблизу шляху проходження судна
- інші глибини за завданням Держгідрогріфії

Відмітними вважаються глибини:

- у районах з горбистим рельєфом і на материковому схилі, розчленованому долинами і каньйонами, що відрізняються від навколишніх на 27% і більше.
- у районах підводних хребтів і окремих гір -глибини, що відрізняються від навколишніх на 30% і більше.

Завданням обстеження є встановлення меж виявленої форми рельєфу та визначення характеру рельєфу дна.

Гідрографічні судна за межами шельфу повинні виконувати промір по всьому маршруту слідкування, а на шельфі - тільки за його недостатньої вивченості [2].

## ЛЕКЦІЯ 3

1. Рельєф морського дна.
2. Ґрунти дна, характеристика наносів.
3. Основні елементи прибережної зони.
  - а. морські наноси в прибережній зоні моря.

### 3.1 Рельєф морського дна

Дно Світового океану, по глибинах, поділяється на наступні основні морфологічні елементи: материкову або континентальну відмілину (шельф) з глибинами до 200м (8%), материковий схил з глибинами 200 - 2400м (15%), дно океану чи моря з глибинами 2400 - 6000м (74%) і глибоководні западини, глибини в яких більше 6000м (3%).

Шельф є підводним подовженням материків і характеризується незначним нахилом дна. Далі йде більш крутий, материковий схил - нахил звичайно складає 4-7 градусів. Нахил дна океану складає усього 20 ' - 40 ' і на ньому виділяються горні хребти, долини та рівнини. Крім того, в сучасній період прийнято виділяти як самостійну структуру океанського дна - серединні океанічні хребти - вони є у всіх океанах і довжина складає приблизно 60 тисяч кілометрів.

Рельєф дна у прибережних водах багатьох районів океану дуже виположений хвилями та течіями.

Дослідження морського дна є дуже важливим для геології, так як без них неможливо відтворити історію формування земної кори.

Геоморфологів, гідрологів та гідрографів більше цікавлять процеси формування рельєфу сучасної материкової відмілини та берегів.

### 3.2. Ґрунти дна, характеристика наносів.

Найбільш значне поділення наносних ґрунтів, які формують морське дно, обумовлюється їх походженням.

Якщо вони занесені з суходолу - теригенні, якщо сформувались у самому морі - пелагічні.

Пошти уся поверхня шельфу теригенними наносами (вітер, річковий стік). До них відносяться великі камені (валуни), галечники, піски та різновиди мулу (червонуватий, зеленкуватий, вулканічний). У зоні сильних морських течій наноси не накопичуються і тут можливі виходи корінних порід (граніт, базальт).

Материковий схил звичайно вкритий мулом. Розмір його окремих фракцій складає тисячні частки міліметру, тільки на стрімких схилах, у зоні течій зустрічаються камені, пісок та гравій.

Дно океану - тут зустрічаються і берегові відкладення і пелагічні - залишки мікроскопічних тварин та рослин з верхніх шарів моря (океану). Серед них виділяють глобігерінові мули та піски (вапнякові), радіолярієві (крицеві), діатомові мули (залишки діатомових водоростей). Найбільшу площу дна океану займають червонувате - бурі глини.

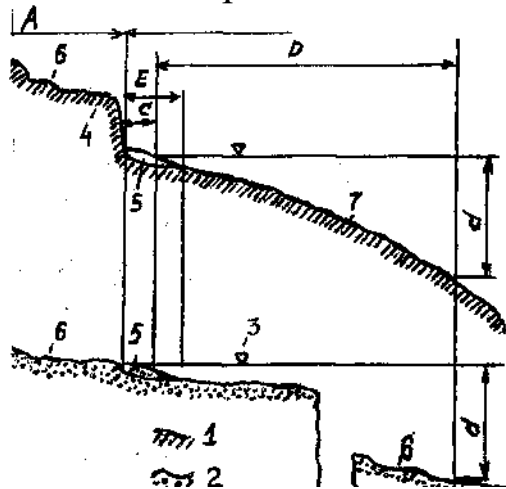
### 3.3. Основні елементи прибережної зони.

Прибережною зоною називається зона інтенсивної взаємодії моря та суші (гідросфери та літосфери), в якій приймають участь також атмосфера та біосфера. Внаслідок цієї взаємодії в прибережній зоні розвиваються характерні тільки для неї гідродинамічні процеси зміни режиму хвилювання, генерації прибережних течій, а також обумовлені цими факторами літодинамічні процеси - переміщення, диференціація (механічна) та стирання морських наносів, формуються особливі форми рельєфу, в створенні яких окрім хвиль та течій приймають участь і інші чинники, наприклад, живі організми.

Літодинамічні процеси у прибережній зоні практично співпадають з процесами на глибинах, але вони протікають тут значно інтенсивніше.

Крім того, прибережна зона є своєрідним фільтром для прибиваючого в океан твердого матеріалу: тут він проходить диференціацію і більш великі фракції затримуються, а мілкі виносяться на більші глибини.

Прибережна зона складається з двох головних елементів самого берега та підводного берегового схилу, малюнок 1.



Малюнок 1. Схема прибережної зони:

А - узбережжя; В - берегова зона; С - берег; D - береговий схил; Е - зона прибою;

1 - корінні породи; 2 - наноси;

3 - середній рівень; 4 - кліф; 5 - пляж; 6 — берегові тераси; 7 - бенч;

d - береговий схил ( вертикальний розріз)

Берег - це смуга суші, на якій є форми рельєфу, створені морем при його сучасному середньобагаторічному рівні.

Узбережжям називається широка смуга, примикаюча до берега із суші і на якій збереглись берегові форми, створені при більш високому, ніж сучасний, рівні моря.

Підводний береговий ухил - смуга морського дна, безпосередньо примикаюча до берега, рельєф якої створено хвилями при сучасному рівні моря.

Берегова лінія - межа, розподіляюча берег та підводний береговий схил (лінія перетину поверхні моря та поверхні суші). Положення берегової лінії непостійне: воно змінюється за рахунок припливних та сгінно-нагінних коливань рівня моря, вертикальних рухів суходолу та евстатичних коливань рівня (поступова зміна рівня океану внаслідок зміни загального об'єму води на Землі, яка викликана опусканням чи підняттям дна океанів, утворенням підводних хребтів, накопиченням на дні товщі відкладень, призводячих до зміни об'єму океанських западин). Положення прибережної зони в просторі визначається, таким чином, віковими коливаннями рівня моря: при високому стоянні рівня прибережна зона зміщується в бік суші, при низькому - в бік моря.



При цих зміщеннях формуються специфічні форми рельєфу - берегові тераси (виявляються у виді перегинів поверхні прибережної суші чи підводного берегового схилу і простягнуті вздовж сучасної берегової лінії ). Якщо сучасний рівень нижче попереднього, то маємо підняті тераси, інакше - затоплені тераси.

Зона хвилеприбійного потоку розташована від лінії останнього руйнування найбільш великих штормових хвиль на підводному схилі до відмітки максимального хвильового захльосту на березі (формується зворотно - поступовий рух води). Під впливом хвилеприбійного потоку формується характерний вид рельєфу берегової зони - пляж.

Нижня межа прибережної зони проходить на глибині, де штормові хвилі утворюють придонні потоки, швидкість яких спроможна розмивати породи, або перемішувати наноси (глибина трохи менша глибини, рівної половині довжини хвилі), верхня межа відповідає зоні максимального захльосту хвиль.

Головним процесом, визначаючим своєрідність прибережної зони, є процес трансформації та дисипації енергії хвиль при їх взаємодії з літосферою» Важливу роль при цьому грають рельєф, ухили підводного берегового схилу та кількість уламків порід, які знаходяться у прибережній зоні.

На одних ділянках берег розмивається і відступає в бік суші: спостерігається морська абразія; на інших ділянках берег намивається й наступає в бік моря - йде процес акумуляції матеріалу. Берега відповідно називаються абразійним і акумулятивним.

Внаслідок абразії формуються два взаємопов'язаних елемента: відсунутий морем береговий обрив - кліф, від якого простягається у бік моря частково надводна та частково підводна поверхня берегового схилу, вироблена у корінних породах - бенч.

У разі акумулятивного берега пляж є одним з обов'язкових і головних його елементів.

На берегах цього типу часто спостерігаються розташовані вздовж й вище берегової лінії вали з наносів - берегові вали. В процесі багаторазового повторення формування валів створюються акумулятивні морські тераси ( сучасні надводні тераси).

На підводному схилі біля відмілих піщаних берегів спостерігаються підводні вали, розташовані паралельними грядами вздовж берега, іноді числом до 5 - 7. Довжина підводних валів досягає багатьох кілометрів, їх висота буває до 4 метрів, а ширина - до кількох десятків метрів.

У висновку треба відмітити, що тільки сумісне вивчення динаміки води прибережної зони моря з динамікою та морфологією морських берегів і дна дозволяють відновити історію розвитку берегів і, що особливо важливо - прогнозувати їх подальший розвиток.

#### а. Морські наноси в прибережній зоні моря.

Продукти руйнування хвилями корінних порід, які складають морські береги і дно, та твердий стік рік утворюють у прибережній зоні моря скопичення уламків.

Потрібно розрізняти уламки матеріалу, які застаються нерухомі, створюючи постійні форми рельєфу, та матеріал, котрий під впливом хвиль і течії може почати рухатися і зміщуватися в межах прибережної зони моря. В першому випадку говорять про морські відкладення, в другому - уламки матеріалу називають прибережними морськими наносами, незалежно від розміру частинок (крупності).

Вивчення сучасних процесів переміщення уламків матеріалу порід в прибережній зоні океану під дією водних потоків та сили тяжіння є предметом вивчення литодинаміки океану.

Фізичні властивості наносів(міцність, щільність, питома вага та інші) визначаються їх петрографічним та мінералогічним складом відповідно для крупних мілких частинок теригенного походження;

хімічним складом і умовами формування для часток органічного та хімічного походження.

Мінералогічний склад піщаних наносів характеризується присутністю зерен кварцу, які іноді складають до 95% усієї маси наносів, польового шпату, часток слюди та інших мінералів.

Наноси органічного походження в більшості випадків складаються продуктами руйнування вапнякових створінь - черепашок, коралів та інших. Наноси хімічного походження найчастіше являють собою скупчення круглястих зерен крупністю біля 1мм, утворившихся внаслідок осадження вапна з морської води коло первинних ядер (оолітові піски).

При вивченні руху наносів в прибережній зоні моря їх звичайно поділяють по видам руху: донні, зважені, напівзважені.

До донних наносів відноситься матеріал, складений з найбільш великих часток (галька, гравій, крупний пісок), які за весь час свого руху не відриваються від поверхні дна і змішуються головним чином під дією хвиль - коченням або волочінням. Течія при помірному та сильному хвилюванні тільки міняє амплітуду переміщення.

Зваженими наносами називається сукупність часток ґрунту, звичайно найбільш мілких (мулястих частинок, мілкого піску), котрі відірвавшись від дна під дією швидкості руху води, знаходяться у зваженому стані довше одного періоду хвилі. Переміщення зважених наносів обумовлюється загальним потоком води, хвилювання визива періодичні прискорення та сповільнення руху часток наносів. До теперішнього часу нема єдиної точки зору про ступінь залежності руху наносів від сили хвилювання і швидкості течії» Швидкість переміщення зважених наносів наближується до швидкості руху води, і тим ближче, чим менше частки ґрунту. Найбільша концентрація зважених наносів та її найбільші градієнти спостерігаються у придонному шарі товщиною  $(0.1 - 0.2)d$  де  $d$  - глибина води.

При цьому концентрація наносів зменшується знизу вверх. Завдяки такому положенню витрати зважених наносів мористіше зони руйнування хвиль, в придонному шарі складає 93-98% від усіх витрат зважених наносів. Найбільш інтенсивне зваження наносів відбувається в місці руйнування хвиль, де наноси насичують товщу води від дна до поверхні пошти рівномірно.

Якщо частки ґрунту під дією вертикальної компоненти пульсації швидкості руху води переміщуються плижками, відриваясь від дна на час, менший ніж один період хвилі, то сукупність таких часток називають напівзваженими наносами.

В загальному випадку, на частинку, яка знаходиться на дні і яка обтікається нестационарним потоком рідини, що відбувається при хвилюванні і течії, діють сили лобового опору, інерційні сили, сили тертя об дно, вертикальні гідродинамічні сили, сили градієнту тиску,

Які розвиваються при нестійкій фільтрації крізь поверхню дна, складену наносами, та сила тяжіння. Оскільки деякі з цих малі, то в спрощених схемах, звичайно, приймають до уваги силу лобового опору, підйомну силу та силу тяжіння.

Усі гідродинамічні сили залежать від форми та крупності часток: по результатам теоретичних та експериментальних досліджень, сума вертикальних гідродинамічних сил виявляється менше, ніж удаваема маса часток, і тому пояснити відрив часток ґрунту від дна можливо тільки введенням в розгляд вертикальної пульсації швидкості при турбулентному русі рідини [3].

## ЛЕКЦІЯ 4

### 1. Загальні уявлення про рух морських наносів у прибережній зоні.

На відміну від руслових потоків, у прибережній зоні моря поле швидкості води характеризується надзвичайною мінливістю. Коливальний рух частинок води у придонному шарі генерує вихрі, які мають протилежний напрям обертання, що призводить до їх взаємного гасіння і, як наслідок, зменшенню турбулізації схвильованої рідини. Турбулентність внаслідок власне хвильових рухів виявляється нижче турбулентності поступових потоків при рівних абсолютних значеннях максимальних швидкостей.

При ухилах дна та пляжу, які спостерігаються в натурних умовах, вплив сили тяжіння треба мати на увазі тільки при розгляді руху відносно крупних донних наносів (галька, гравій, пісок). У даному випадку частки наносів слід розглядати як важке тіло, яке під дією горизонтальних і вертикальних гідродинамічних сил при конкретному значенні швидкості руху води втрачає стабільність і потім змішується по дну, обертаючись навкруг горизонтальної осі (кочення), або ковзаючи по часткам, що лежать нижче (тягнення).

При русі мілких та середніх пісків на дні із слабким ухилом дна, вплив сили тяжіння дуже малий і механізм зміщення часток відрізняється від вищерозглянутого. При малій придонній швидкості частки піску знаходяться у спокої, потім, при зростанні швидкості води, окремі частинки починають вібрувати, потім коливатися без відриву від дна і, нарешті, частинка відривається від дна.

Початкова донна швидкість зрушення часток витікає в більшості випадків з умов сталісті на перекидання частинок визначеної форми (наприклад сферичної) при впливі на неї потоку.

Звичайно вираз для цієї швидкості зводиться до виду:

$$V_{зр} = k \sqrt{\rho' g d_{ч}};$$

де:  $k$  - дослідний коефіцієнт, який залежить від щільності та крупності часток, а також від в'язкості рідини; -  $d_{ч}$  - діаметр часток;

$$\rho' = \frac{\rho_{ч} - \rho_{w}}{\rho_{w}}$$

$\rho_{ч}$  - щільність часток наносів;

$\rho_{w}$  - щільність морської води .

Як показують дані експериментів багатьох дослідників, початкова швидкість зрушення однакова в поступовому потоці і при хвилюванні.

При подальшому зростанні швидкості кількість часток, що почали рухатись, зростає, починається масовий відрив часток від дна та їх переміщення, після чого спостерігається створення мікроформ рельєфу у вигляді рифлів. В залежності від крупності часток, формування рифлів починається при різних значеннях придонної швидкості, у діапазоні - 1.3 - 1.5  $V_{зр}$ , при цьому чіткі рифлі створюються при діаметрі часток менше 0.7 - 1.0мм. Переміщення часток крупністю більше 1мм відбувається як правило, без створення рифлів.

Висота рифлів досягає звичайно 2-5 см, а відстань між гребнями - 20-30 см, розміри рифлів залежать від крупності часток і швидкості потоку. В залежності від умов формування, рифлі можуть бути симетричними та асиметричними з прямолінійними довгими та криволінійними короткими гребенями.

Генерацію первинних мікроформ для умов поступового потоку ряд дослідників пов'язують із створенням вихрів за випадковими нерівностями дна. При донній швидкості, більшої швидкості зрушення частинок, висота таких критичних нерівностей повинна бути порядку крупності часток. Під дією утворившогося за перепороною вихрю, у якого відбувається сходження тилової гілки, частки зміщуються в бік, протилежний руху потоку,

в бік перепони, нарощуючи її по висоті. Це, в свою чергу, призводить до збільшення розмірів вихрю та швидкості потоку над гребенем перепони, що визиває зрив часток з гребеня і їх зваження. Частина з них переноситься потоком нижче по течії, де створюються підняття ґрунту, обумовлюючи генерацію нового гребню, зваження часток, і так далі. Відбувається розвмток системи мікроформ - рифлів. Під дією потоку, частинки на лобовому боці рифеля рухаються на гребінь і потім зриваються з нього - цей бік рифеля розмивається. Деякі частинки, піднявшись з гребеня рифеля, падають на його тилову частину, нарощуючи її. При цьому тилова частина рифеля підтримується більш стрімкою ніж лобова, за рахунок підйому води у вихрі. Таким чином, частки переходять з лобової частини на тилову, і рифлі повільно зміщуються у напрямі потоку. При зростанні швидкості води, зростають і розміри рифеля, а відповідно, і розміри вихрю - зростає турбулізація потоку, що призводить до масового зваження часток ґрунту дна і стиранню рифлів.

Настає, так звана, перша гладка фаза масового переміщення наносів. Донну швидкість, яка відповідає цій фазі визначають по різному: деякі автори вважають, що ця швидкість складає від  $2.5-3 V_{зр}$ , інші визначають її як  $8 - 12 < \omega$  ( $\omega$  - гідравлічна крупність, або швидкість осідання часток у спокійній воді).

При подальшому збільшенні швидкості гладке дно втрачає свою сталість і на дні створюються більш значні грядові форми - піщані хвилі, які зміщуються по течії. При цьому переміщення піщаних наносів йде не тільки у зваженому стані, але і в наслідку зміщення форм рельєфу. Якщо швидкість зростає і далі, то може наступити друга фаза, коли наноси зміщуються у придонному шарі у вигляді суцільного прошарку. Нарешті, при значних швидкостях і великій бурхливості потоку створюються, так звані, антидюни, які рухаються проти течії; при цьому форма потоку приймає хвилеобразний характер, повторюючи приблизно профіль дна.

В умовах моря характер переміщення наносів, який відповідає поступовим потокам, може спостерігатися на мілководді, де хвилі невеликі, але можуть бути значні вітрові або припливні течії, або в зоні піщаних валів при вздовжберегових течіях. При спільній дії хвиль та течії, що відповідає найбільш типовому випадку для прибережної зони моря, або при дії тільки одного хвилювання, грядові форми і характер переміщення наносів можуть різнитися від вищенаведеного. При достатньо крупних піщаних наносах рифлі не створюються, при помірному та сильному хвилюванні безпосередньо настає друга гладка фаза, існування якої може бути достатньо розтягнутим у межах дії шторму; антидюни, як правило, не спостерігаються.

Витрати і напрямок переміщення наносів у прибережній зоні залежать не тільки від абсолютних значень донних хвильових швидкостей, але і від загальної циркуляції води в прибережній зоні, яка генерується хвилюванням.

В залежності від напрямку руху наносів відносно берегової смуги, розрізняють поперечне переміщення наносів, коли вони рухаються перпендикулярно береговій лінії, та продольне переміщення наносів, коли відбувається підсумковий рух вздовж берега. У більшості випадків поперечне та продольне переміщення наносів відбувається одночасно, але вони можуть спостерігатися і в чистому виді, тобто окремо.

З точки зору практичних інтересів, важливе визначення швидкостей, які викликають масове переміщення наносів різної крупності. Якщо сумарна швидкість рідини над будь якою ділянкою дна стане більше цієї швидкості, то це може спричинити розмив дна. При проектуванні споруд визначають, шляхом розрахунку, придонну хвильову швидкість, складають її з можливою швидкістю течій у цьому місті, та порівнюють з припустимою для даної крупності наносів швидкістю.



При можливому розмиві дна та відкосів необхідно робити затісни покриття [3].

## ЛЕКЦІЯ 5

1. Поперечне переміщення наносів.
  2. Вплив донної течії.
  3. Залежність характеру руху часток від їх крупності.
- 5.1 Поперечне переміщення наносів.

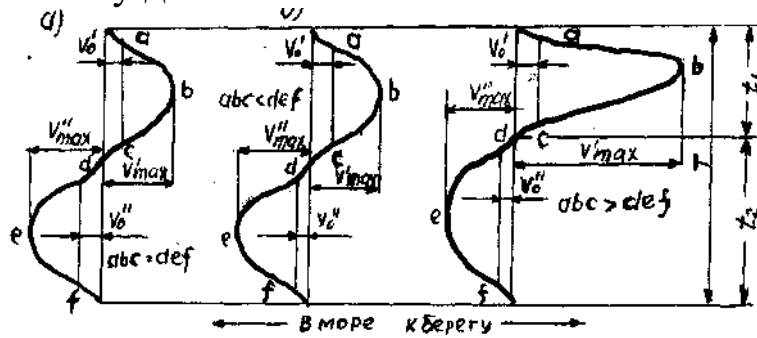
Теорія переміщення наносів на похилому дні була розроблена Корналя (1881р.) і пізніше, найбільш повно, розглянута професором В.П. Зенковичем, який вважав, що ця теорія прийнятна тільки для крупних наносів, які переміщуються тягненням.

Переміщення тягнених наносів вздовж поперечного профілю дна розглядається в найпростіших умовах: підводний схил має однаковий уклін по всій довжині і складений однаковими частками, всі хвилі розповсюджуються по нормалі до берега, мають однакові параметри і не змінюються у часі; частинки мають достатню крупність і за весь час не переходять у зважений стан; ухили дна достатньо великі і тому можна витратами енергії хвилі на тертя об дно зневажити при її розповсюдженні над схилом - при цьому амплітуда хвиль біля дна весь час зростає при зменшенні глибини.

В основі теорії лежить уявлення про так звану нейтральну лінію та асиметрію швидкостей в деформованій на міліні хвилі.

По даним вимірів, асиметрія придонної швидкості з'являється одночасно з початком деформації хвиль на мілководді і проявляється у тому, що при проходженні гребеня хвилі, час дії швидкості менше, а її абсолютна величина більша, ніж при проходженні западини хвилі. Ця різниця тим більша, чим менша глибина води, малюнок 1. Можливі співвідношення між максимальними прямою та зворотною хвильовими швидкостями, та швидкостями необхідними для початку переміщення часток уверх і униз по відкосу,

обумовлюють складні рухи частинок різної крупності на похилому дні.



Малюнок 1. Епюри донних хвильових швидкостей.

а - недеформована на горизонтальному дні;

б - недеформована на похилому дні;

в - деформована на похилому дні;

$T$  - період хвилі;  $t_1$  - час дії прямого потоку;

$t_2$  - час дії зворотнього потоку;  $V'_{max}$  - пряма хвильова швидкість;

$V''_{max}$  - зворотна хвильова швидкість;

$V'_0$  - швидкість, необхідна для початку переміщення частинок уверх по відкосу;

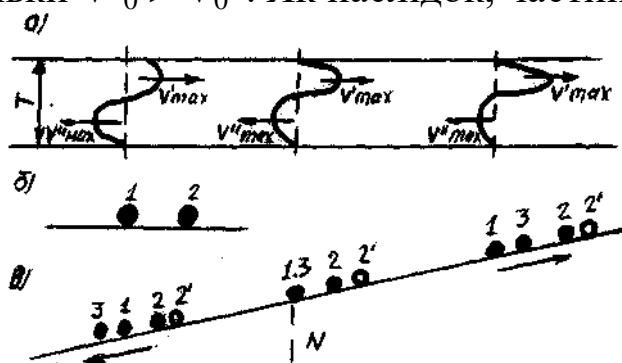
$V''_0$  - швидкість, необхідна для початку переміщення униз по відкосу.

Якщо припустити, що на горизонтальному дні при недеформованому профілі швидкостей, коли

$V'_{max} = V''_{max}$ , (малюнок 2а), частинки рухаються, тобто  $V_{max} > V_0$ , то частинка при проходженні гребеня хвилі зміститься у бік берега з положення 1 в положення 2 (малюнок 2б), причому відстань 1-2 пропорційна площині  $abc$  епюрі швидкостей (малюнок 1), і при проходженні западини хвилі частинка повернеться в початковий стан, так як  $abc = def$ . Частинка буде коливатися з визначеною амплітудою, без зміщення. Але при цьому ж недеформованому профілі швидкостей на похилому дні рух часток буде відрізнятися.

При проходженні гребеня хвилі частинка під дією хвильової швидкості повинна була б зміститися з положення 1 в положення 2', але в наслідок дії складової сили тяжіння, паралельної схилу, її переміщення буде менше і вона опиниться в положенні 2 (малюнок 2в). При проходженні западини хвилі, складова сили тяжіння діє на частинку у тому ж напрямі, що і гідродинамічна сила, і частинка зміститься униз по схилу на більшу відстань, ніж уверх,

і опиниться у положенні 3, при цьому  $abc < def$  оскільки  $V'_0 > V_0''$ . Як наслідок, частинка зміститься униз.



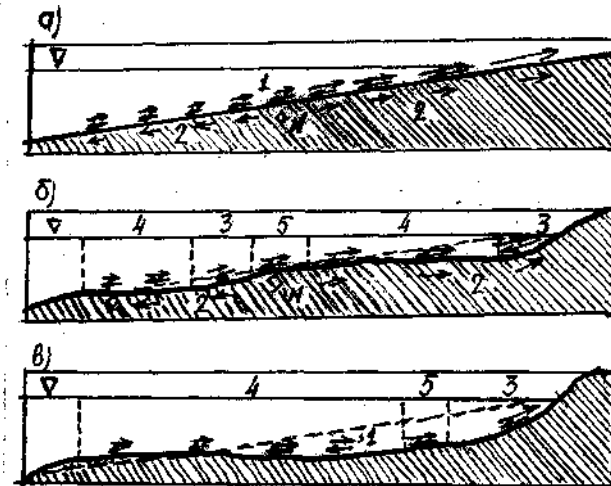
Малюнок 2. Рух часток наносів на горизонтальному та похилому дні; а - епюри швидкостей; б - послідовне положення часток на горизонтальному дні; в - послідовне положення часток на похилому дні; N - нейтральна лінія.

З поменшенням глибини профіль швидкостей деформується: максимальна швидкість при проходженні гребеня  $V'max$  зростає, а при проходженні западині хвилі  $V''max$  зменшується; одночасно час дії  $V'max$  зменшується, а швидкості  $V''max$  збільшується. В наслідок, зміщення часток уверх по схилу зростає, а униз - зменшується і загальне зміщення часток униз по схилу зменшується.

При деякій, визначеній глибині та відповідній асиметрії швидкостей, різниця в дії прямої та зворотної швидкостей може зрівнятися з складовою сили тяжіння і частки будуть коливатися біля положення рівноваги, як у випадку горизонтального дна.

При меншій глибині, асиметрія швидкостей стає більш різкою, і перевага прямої швидкості над зворотною настільки зростає ( $abc > def$ ) що, виконав повне коливання, частинки не зможуть повернутися в свій початковий стан, а змістяться в бік берега. При подальшому зменшенні глибини, перевага швидкості при проходженні гребеня буде зростати, також зміщення часток у бік берега і швидкості самих часток при цьому будуть зростати, малюнок 3а. Таким чином, на підводному береговому схилі утворюються дві зони виносу часток: нижня - частинки зміщуються униз по схилу, та верхня - частинки зміщуються уверх по схилу.

Між цими зонами знаходиться лінія, або вірніше, деяка область, де частинки тільки коливаються, і де, отже, відсутній винос часток. Цю умовну лінію і називають нейтральною.



Малюнок 3. Процес формування профіля рівноваги.

а - початкова стадія; б - проміжна стадія; в - кінцевий прфіль рівноваги;  
 1 - напрямок та відносна величина прямого та зворотнього переміщення часток в заданій точці профілю; 2 - підсумковий перенос; 3 - стрімкий відкос; 4 - більш пологий відкос; 5 - відкос без змін; N - нейтральна лінія.

В наслідок виносу часток схил униз від нейтральної лінії зростає, вище нейтральної лінії профіль дна стає більш пологим.

Оскільки хвильові швидкості у верхній частині схилу по абсолютному значенні більші ніж у нижній, то розмив у верхній зоні йде інтенсивніше і тут скоріше вироблюється профіль, у кожній точці якого встановлюється рівновага між результуючою гідродинамічних сил і складовою сили тяжіння. Ця рівновага може встановитися тільки при зростанні ухилу відкосу в напрямку від глибини до берега, так як при зменшенні глибини різниця між прямою та зворотною швидкостями зростає, і для забезпечення динамічної рівноваги повинна зростати і складова сили тяжіння, малюнок 3в. Отже, при вказаних умовах, в верхній частині відкосу відбувається відкладення (аккумуляція) наносів і смуга берега зміщується у бік моря.

На створеній нижче нейтральної лінії, більш стрімкій ділянці схилу, швидкість, необхідна для переміщення часток униз по відкосу  $V_0''$ , зменшується, а швидкість, необхідна для зміщення часток уверх по відкосу  $V_0'$ , зростає,

малюнок 36, і, як наслідок, тенденція до зміщення часток униз по відкосу зростає.

У цьому ж напрямку діє і зменшення асиметрії швидкостей, яке відбувається при створенні заглиблення дна внаслідок розмиву. В підсумку, нижня зона розмиву буде розширюватися вверх по схилу за рахунок верхньої частини схилу. Винесені при цьому частки відкладаються у нижній частині профілю, роблячи його більш пологим, і цей процес триває до тих пір, поки не настане рівновага між результуючою гідродинамічних сил та складовою сили тяжіння. Зона акумуляції постійно розширюється за рахунок нижньої зони розмиву, яка переміщується уверх. При цьому вироблюється та заглиблюється спочатку зона нейтральної лінії, а потім розмивається та перебудовується верхня частина відкосу, у відповідності з новими умовами. Переробці може підлягти і акумулятивна зона у верхній частині підводного схилу. Ці процеси при невизначено тривалій дії постійного хвилювання повинні привести до вироблення профілю, в кожній точці якого встановлюється динамічна рівновага. Такий профіль називається граничним профілем рівноваги, малюнок 3в. Частки наносів на такому профілі тільки коливаються біля свого середнього положення.

## 5.2. Вплив донної течії.

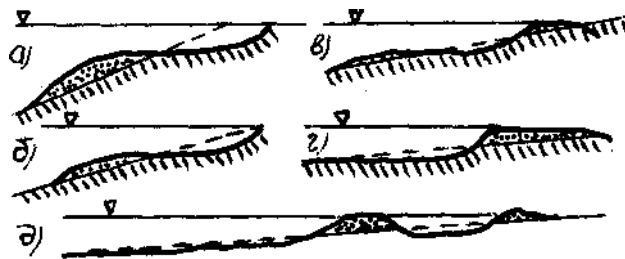
В присутності донної течії, результуюча швидкість у даній точці профілю дна змінюється. Якщо течія на якомусь відрізку профілю дна спрямована у бік моря, то результуюча швидкість у всіх точках цього відрізка дна, яка направлена у бік моря, зростає, а у бік берега - зменшується. Отже, різниця між прямою та зворотною швидкостями зменшується, що призводить до загального уположення профілю. Швидкість течії при зменшенні глибини зростає, але оскільки це звеличання менше, ніж зростання прямої хвильової швидкості, яке настає при зменшенні глибини, то у цьому випадку стрімкість схилу буде зростати у бік берега.

Таким чином, присутність компенсаційної течії не змінює характеру профілю, а впливає тільки на його кількісні характеристики. Теж саме можна сказати і у випадку течії, спрямованої у придонному шарі у бік берега, з тією лиш різницею, що при цьому буде спостерігатися зростання ухилів профілю.

### 5.3. Вплив початкових ухилів дна.

Сума площин верхньої та нижньої призм намиву рівнозначна площині призми розмиву, тобто кількість матеріалу, змитого всередині профілю, дорівнює кількості намитого матеріалу у верхній та нижній частинах профілю, якщо не зважати на витрати на стирання.

Універсальність цього положення повинна привести до різкого зміння берегової зони, в залежності від її початкового нахилу. Розглянемо різні варіанти, малюнок 4.



Малюнок 4. Виробка профілю рівноваги при різних початкових ухилах дна.

При більш стрімкому схилі, чим у розглянутому випадку (малюнок 4а,б), нейтральна лінія зміститься у бік берега, верхня зона розмиву буде скорочена і кількість викинутого на берег матеріалу зменшиться. Відповідно, нижня зона розмиву зросте і для її заповнення може не вистачити відкладеного біля берега матеріалу. Тоді поповнення цього дефіциту буде виконуватися за рахунок розмиву первісного відкосу, і смуга берега зміститься в бік суші, малюнок 4а. Чим більше кут первісного схилу, тим далі у бік суші зміститься лінія берега.

Профіль рівноваги буде на всю ширину вирізаний у початковому схилі, так як в цьому випадку нейтральна лінія не може існувати, і всі частки, починаючи з верхньої точки профілю, будуть зноситись униз.

На малюнку 4б представлено випадок схилу дна, коли при наявних хвильових умовах, після вироблення профілю рівноваги, положення смуги берега не змінилось (такий ухил єдиноможливий при заданих умовах).

При більш пологих початкових відкосах (малюнок 4в, г) нейтральна лінія буде зміщена у бік більших глибин: при зовсім пологому відкосі вона буде розташована приблизно на глибині припинення хвильових рухів, і, отже, профіль рівноваги буде формуватися за рахунок переміщення наносів уверх по відкосі, а їх акумуляція відбувається у верхній частині профілю. Смуга берега у цьому випадку зміститься на значну відстань у бік моря, малюнок 4г.

Якщо уклін підводного схилу дуже малий, малюнок 4д, то енергія хвилі повністю розсіюється, недоходячи до берегової смуги, і наноси будуть відкладатися на деякі відстані від берега. Спочатку створюється підводний вал, який з часом піднімається вище рівня води і перетворюється у береговий бар. Після цього колишня берегова смуга та дно створеної лагуни вже не будуть змінюватись. Подальшій переробці буде підлягати морський відкос берегового бару.

### 5.3. Залежність характеру руху частинок від їх крупності.

Оскільки і гідродинамічні сили при постійній силі хвилювання, і складова сили тяжіння безпосередньо залежать від крупності часток, з яких складено відкос, то зрозуміло, що із зміненням крупності буде мінятися і характер руху часток на відкосі, а також і профіль рівноваги.

Для кожної частинки рух на похилому дні починається в той чи інший бік при  $V_{\max} > V_0$ .



При зменшенні глибини хвильові швидкості зростають, і при визначеній величині прямої швидкості, яка зростає більш інтенсивно, відбудеться відрив частинки від поверхні дна. Якийсь відрізок переміщення ця частинка пройде вже у зваженому стані. Нарешті, при якійсь глибині, зважена частка не встигне за період хвилі впасти на дно і компенсаційною течією буде винесена у бік моря, в зону більш слабких хвильовий впливів. На менших глибинах часток цієї крупності вже не буде. Чим менші частки, тим на більшій глибині вони переходять у зважений стан при постійній силі хвилювання і тільки найбільш крупні частинки переміщуються по дну, не відриваючись від його поверхні, в бік берега де і формують пляж.

Дуже малі частки  $\alpha_1$  малюнок 5, починаючи свій рух на значній глибині, можуть перейти у зважений стан нижче нейтральної лінії; для них не буде існувати ні нейтральної лінії, ні зони руху уверх по відкосі. Більш крупні частинки аз перейдуть у зважений стан на меншій глибині, і якщо ця глибина буде менше глибини розташування нейтральної лінії для часток цієї крупності, то для них буде існувати зона тягнення уверх. Для часток середньої крупності  $\alpha_3$ , які не переходять у зважений стан, існують усі три зони, причому зона тягнення вниз може бути скороченою.

Крупні частинки  $\alpha_4$  можуть почати рухатися тільки при значній швидкості. Такі частинки зміщуються тільки вверх по відкосі при проходженні гребеня хвилі. Для них відсутня нейтральна лінія та зона тягнення униз. Таким чином, чим крупніші частки, тим менша глибина на якій вони починають рух, і стрімкіший відкос, де частки можуть знаходитись у динамічній рівновазі. Тому зі збільшенням крупності часток зменшується ширина граничного профілю рівноваги і зростає його стрімкість, малюнок 6.

При втиханні шторму у кожній точці відкосі осідає послідовно різний за крупністю матеріал: спочатку валуни та галька, потім проміжки між ними заповнюються гравієм та піском.

## ЛЕКЦІЯ 6

1. Змінення режиму руху наносів та профілю рівноваги в залежності від сили хвилювання.
2. При послабленні хвилювання.
3. При зростанні сили хвилювання.
4. Вплив крутизни хвиль.

### 6.1. Змінення режиму руху наносів та профілю рівноваги в залежності від сили хвилювання.

Прослідити закономірність змінення профілю берегової зони на всій довжині, при зміні хвилювання поки неможливо, однак можливо вказати спрямованість процесу переробки верхньої та нижньої частини профілю рівноваги на основі розглянутих вище схем руху часток наносів.

### 6.2. При послабленні хвилювання.

При послабленні сили хвилювання зменшується глибина дії хвиль на дно і, як наслідок, ширина нового профілю рівноваги. В нових умовах перероблюватися буде тільки верхня частина старого профілю. Зменшується сила донної компенсаційної течії, що призводить до зростання стрімкості відкосу по усій довжині профілю. Зменшується ступінь деформації профілю хвильових швидкостей та абсолютна величина їх максимальних значень, тобто  $V'_{\max}$  та  $V''_{\max}$ , що призводить до відносного зростання  $V_0'$  та  $V_0''$ . Це веде, по перше, до розширення зони тягнення часток уверх по відкосі, і, по друге, до зростання різниці між переміщенням часток уверх і униз по відкосі, і для її врівноваження дією сил тяжіння, схил повинен зростати. Таким чином, у верхній частині профілю, де відбувається значна деформація хвилі, відкос нового профілю буде стрімкіший попереднього, що супроводжується виробкою матеріалу на берег,

нарощуванням та зміщенням берега у бік моря.

У нижній частині нового профілю, якщо початок деформації хвилі приходить на стрімку частину попереднього профілю, що може статися при значному ослабленні хвилювання, відкос стає пологішим, і у його основі буде спостерігатися різка зміна глибин, або як говорять - звал глибин.

### 6.3. При зростанні сили хвилювання.

При зростанні сили хвилювання зростає компенсаційна течія, що призводить до уположення відкосу, зростають параметри хвилювання та асиметрія швидкостей, а це призводить до зростання ширини профілю рівноваги та вигладжування верхньої частини відкосу. На ділянці між нижніми кінцями старого та нового профілів, виробка профілю йде на початковому відкосі, де створюється зона відкладення часток, які поступають з нижньої зони розмиву старого профілю. Як наслідок - початковий ухил зменшується. Таким чином, і у верхній, і у нижній частинах, відкос стає більш пологим. Можливо вважати, що це відбувається і у середній частині профілю.

При загальному згладжуванні профілю, матеріал з відкосу зміщується униз, берег розмивається і смуга берега відступає у бік суші. Як наслідок, під час шторму відбувається більш сильне виположування профілю та розмив берегів, а також знищення пляжу. Але, як тільки шторм вщухає, при слабкому хвилюванні матеріал знову зміщується до берега і нарощує його. Проте основний профіль підводного схилу створюється штормами, слабке хвилювання тільки змінює його обриси у верхній частині. Сильний шторм за одну добу може докорінно змінити профіль, який створювався при слабкому та посередньому хвилюванні на протязі довгого часу - місяцями, і навіть роками.

#### 6.4. Вплив крутизни хвиль.

Багато дослідників (особливо зарубіжних) пов'язують зміну профілю з крутизною хвилі, зазначаючи, що пологі хвилі нарощують пляж, а стрімкіші його розмивають. Оскільки зимою частіше спостерігаються вітрові стрімкі хвилі, а влітку - пологі хвилі зибу, то говорять про літнє намивне хвилювання, та про зимове розмивання.

Професор В.П.Зенкович таким чином пояснює цю закономірність, що дійсно існує у природі: „Пологі хвилі впливають на дно починаючи з більшої глибини, тобто на широкому підводному схилі їх деформація починається раніше, і внаслідок цього, асиметрія швидкостей у кожній точці попереднього відкосу буде більше. Проте абсолютні швидкості будуть менші, що викликає відносне зростання швидкостей  $V_0'$  та  $V_0''$ . При таких умовах матеріал викидається на берег і таким чином нарощує його - пляж намивається.

При стрімких, отже, більш короткоперіодичних хвилях зростає нагон води у зоні зрізу. Це викликає посилення компенсаційної течії, що призводить до загального виположення профілю. Зростання максимальних хвильових швидкостей та малий період хвиль сприяють зважанню наносів та виносу їх у море. В результаті матеріал зноситься униз по відкосу, профіль стає більш пологим, розмивається пляж і берегова смуга відступає у бік суші" [3].