МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *природоохоронний*
Кафедра *екології та охорони довкілля*

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: «Природні фактори деградації пляжу міста Южне»

Виконав студент 2 курсу групи МОС-22
спеціальності 101 Екологія
Воробйов Олександр Олександрович

Керівник к.т.н., доц.
Юрасов Сергій Миколайович

Рецензент д.геогр.н., проф.
Лобода Наталія Степанівна

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *природоохоронний*
Кафедра *екології та охорони довкілля*
Рівень вищої освіти *магістр*
Спеціальність *101 – Екологія*
Освітньо-професійна програма *Екологія та охорона навколишнього середовища*

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
екології та охорони довкілля

Т.А.Сафранов
“ *23* ” *жовтзня 2023* року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістера

Воробйова Олександра Олександровича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи «*Природні фактори деградації пляжу міста Южне*»
керівник роботи *Юрасов Сергій Миколайови, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від “16” *жовтня* 20*23р.* № 215*«С»*

2. Строк подання студентом роботи *30 листопада* 2023 *р.*

3. Вихідні дані до роботи *звіти проектних організацій про стан розглядуваної ділянки, нормативна та технічна література з питань охорони довкілля та проектування технічних засобів захисту узбережжя.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити
1) Загальна характеристика водного об’єкту
2)Відомості про ділянку дослідження
3) Загалні уявлення про чинники впливу на стан пляжу
4) Гранулометричний склад ґрунтів
5) Хвилювання
6) Вітровий нагін
7) Профіль динамічної рівноваги
8) Аналіз результатів, висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
1) Розташування об’єкту досліджень
2) Проміри глибин

*3) Розрізи*_____
*4) Гранулометрична крива*_____
*5) Хвиленебезпечні напрямки*_____
*6) Розташування розрізів*_____
*7) Профілі берегового схилу й динамічної рівноваги*_____
*8) Профілі відсипки*_____

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання__*23 жовтня 2023 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Оцінка виконання етапу	
			у%	за 4-х бальною шкалою
1	*Збір даних по загальній характеристиці водного об'єкту*	*23.10.20-30.10.20*	85	(добре)
2	*Збір даних про ділянку досліджень, статистична обробка цих даних.*	*31.10.20-08.11.20*	85	(добре)
3	*Обробка результатів гранулометричного складу, розрахунок критичних швидкостей розмиву, параметрів вітрового хвилювання.*	*09.11.20-12.11.20*	85	(добре)
	Рубіжна атестація	*13.11.20-17.11.20*	85	(добре)
5	*Розрахунок профілю динамічної рівноваги, побудова профілів берегового схилу і динамічної рівноваги*	*18.11.20-24.11.20*	85	(добре)
6	*Аналіз отриманих результатів, розробка висновків й рекомендацій*	*25.11.20-29.11.20*	85	(добре)
8	*Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.*	*30.11.20-05.12.20*	85	(добре)
9	*Підготовка остаточної версії магістерської кваліфікаційної роботи та презентаційного матеріалу до публічного захисту в екзаменаційній комісії.*	*06.12.20-13.12.20*	85	(добре)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		85,0	

Студент _____ *Воробйов О.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Юрасов С.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Воробйов О.О. Природні фактори деградації пляжу міста Южне.

В роботі розглядається проблема руйнування узбереж під впливом природних факторів на прикладі пляжу міста Южне. Ця проблема є актуальною через втрату рекреаційної привабливості деградованих пляжів і пов'язані з цим збитки в туристичної діяльності.

Об'єкт дослідження – стан пляжу під впливом природних факторів.

Предмет дослідження – вплив природних факторів на стан пляжу міста Южне.

Мета дослідження – прогноз стану пляжу міста Южне, пропозиція загальних заходів його захисту від розмиву.

Елементи наукової новизни полягають у детальному аналізі факторів, під впливом яких відбувається деградація пляжу міста Южне, у прогнозуванні стану цього пляжу.

Пляж м. Южне знаходиться на узбережжі Чорного моря в Одеській області. Його довжина складає приблизно 700 м. Хвиленебезпечним є південний напрямок в секторі 180±22,5°. Відстань від пляжу до протилежного берега (розгін хвиль) дорівнює 540–610 км. Границя між мілководною і глибоководною зонами співпадає з глибиною 75 м, знаходиться вона на відстані приблизно 200 км від пляжу.

При вітрах південного напрямку повторюваністю один раз в 25 років на підході до мілководної зони формується розвинене хвилювання з граничними параметрами хвиль, яке трансформуючись у мілководній зоні суттєво впливає на узбережжя. При розрахунковому хвилюванні формується профіль відносної динамічної рівноваги. Його розрахункова протяжність від урізу води – 1200 м, глибина на цієї відстані – 11,4 м. Протяжність приурізовой зони становить 220 м від урізу води, глибина на її границі – 3,6 м.

Незалежно від стояння рівню води розрахунковий шторм руйнує корінний берег на крайніх ділянках пляжу. При високому стоянні рівня моря хвилювання переміщає руйнований матеріал з пляжним матеріалом в приурізову зону, при цьому уріз води (тут і далі за текстом при рівні води на позначці 0,0 м БС) не змінює своє планове розташування. Кількість пляжного матеріалу на надводної частині берегового схилу може суттєво зменшуватися. При середньому стоянні рівня моря змив руйнованого і пляжного матеріалу супроводжується наступом урізу води в бік моря на відстань до 20 м, але при цьому теж спостерігається зменшення пляжного матеріалу на надводної частині берегового схилу.

На ділянках пляжу, де відстань корінного берега від урізу води складає 10–15 м, для запобігання його розмиву, необхідне зведення підпірної стінки з відсипанням шару піску з позначкою верху «+»1,0 м БС і шириною 40–45 м від стінки. На ділянках пляжу де корінний берег не знаходиться під впливом хвилювання, для забезпечення рекреаційної привабливості пляжу можна рекомендувати тільки відсипку шару піску з позначкою верху «+»1,0 м БС

від урізу води в бік моря на відстань 30 м, в бік берегу – до відповідної горизонталі (до 20 м). Варіантом активного методу захисту може бути зведення на пляжі проникних бун або уривчастого хвилелому на відстані 50–60 м від берега. Такий захист не буде перешкоджати вздовжбереговому транспорту піску. Буни або хвилелом будуть сприяти накопиченню піску на пляжі. При цьому після сильних штормів південного напрямку при високому стоянні рівня моря необхідні епізодичні досипки піску на пляж.

Робота складається зі вступу, 3 основних розділів, висновків, переліку посилань і додатку. Обсяг роботи складає 70 с., у тому числі 24 рис., 16 табл. і 16 літературних джерел.

За темою кваліфікаційної магістерської роботи було опубліковано стаття у фаховому виданні за спеціальністю «101 – Екологія» – Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Харківський національний університет ім. Каразіна. 2023. Вип. 39.

Ключові слова: природні фактори, деградація пляжу, режим рівню води, параметри хвилювання, швидкість вітру, гранулометричний склад ґрунту, профіль, відносна динамічна рівновага.

ANNOTATION

Vorobyov O.O. Natural factors of beach degradation in the city of Yuzhne.

The paper considers the problem of the destruction of coasts under the influence of natural factors on the example of the beach of the city of Yuzhny. This problem is relevant due to the loss of recreational value of degraded beaches and related losses in tourism activities.

The object of research the beach strip of the coast under the influence of natural factors.

The subject of research – the influence of natural factors on the state of the beach in the city of Yuzhne.

The purpose of research assessment of the state of the Yuzhne beach in perspective, proposal of measures to protect it from degradation.

Elements of scientific novelty consist in a detailed analysis of the factors under the influence of which degradation of the Yuzhne beach occurs, and forecasting of the state of the beach.

The beach of Yuzhne is located on the coast of the Black Sea in Odesa region. Its length is approximately 700 m. The southern direction in the sector 180±22.5° is dangerous for waves. The distance from the beach to the opposite shore (wave acceleration) is 540–610 km. The boundary between the shallow and deep water zones coincides with a depth of 75 m, it is located at a distance of approximately 200 km from the beach.

With southerly winds, recurring once every 25 years, a developed disturbance with extreme wave parameters is formed on the approach to the shallow water zone, which, transforming in the shallow water zone, significantly affects the coast. A profile of relative dynamic equilibrium is formed during calculated disturbance. Its estimated length from the water cut is 1200 m, the depth at this distance is 11.4 m. The length of the riparian zone is 220 m from the water cut, the depth at its border is 3.6 m.

Regardless of the standing water level, the calculated storm destroys the original shore at the extreme parts of the beach. When the sea level is high, the wave moves the destroyed material with the beach material into the cut-off zone, while the water cut (here and further in the text at the water level at the mark of 0.0 m BS) does not change its planned location. The amount of beach material on the upper part of the coastal slope may decrease significantly. At an average sea level, the washing away of destroyed and beach material is accompanied by the advance of the water cut toward the sea for a distance of up to 20 m, but at the same time, a decrease in beach material is also observed on the above-water part of the coastal slope.In the areas of the beach, where the distance of the main shore from the water cut is 10–15 m, to prevent its erosion, it is necessary to build a retaining wall with a layer of sand with a top mark of "+" 1.0 m BS and a width of 40–45 m from the wall. In the areas of the beach where the original shore is not affected by waves, to ensure the recreational attractiveness of the beach, it is possible to recommend only the dumping of a layer of sand with the top mark "+" 1.0 m BS from the water cut

towards the sea for a distance of 30 m, towards the shore – up to corresponding horizontal (up to 20 m). An option for an active method of protection can be the construction of permeable bunkers or an intermittent breakwater on the beach at a distance of 50–60 m from the shore. Such protection will not interfere with the alongshore transport of sand. Dunes or waves will contribute to the accumulation of sand on the beach. At the same time, after strong southerly storms and high sea level, episodic filling of sand on the beach is necessary.

The work consists of an introduction, 3 main sections, conclusions, a list of references and an appendix. The volume of work is 70 pages, including 24 figures, 16 tables. and 16 literary sources.

An article was published on the topic of the qualifying master's thesis in a professional publication on the specialty "101 – Ecology".

Key words: natural factors, beach degradation, water level regime, wave parameters, wind speed, granulometric composition of the soil, profile, relative dynamic balance.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ..... 10
ВСТУП 12
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ 14
1.1 Географічна характеристика 14
1.2 Метеорологічний режим 16
1.3 Гідрологічний режим 19
1.4 Гідрохімічна характеристика 24
1.5 Гідробіологічна характеристика 25
2 ВІДОМОСТІ ПРО ДІЛЯНКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИХІДНІ ДАНІ 28
2.1 Розташування пляжу
2.2. Вихідні дані .....
3 ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТАН ПЛЯЖУ І РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ 40
3.1 Загальні уявлення про природні фактори впливу на стан пляжу 40
3.2 Результати розрахунків 43
3.3 Гранулометричний склад ґрунтів..... 45
3.4 Хвилювання..... 49
3.5 Вітровий нагін..... 54
3.6 Крітичні швидкості розмиву..... 55
3.7 Профіль динамічної рівноваги берегового схилу і аналіз результатів дослідження..... 57
ВИСНОВКИ..... 69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 71
ДОДАТК А..... 73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БС	–	балтійська система височин;
W	–	природна вологість ґрунту;
P	–	щільність вологого ґрунту;
ρ_d	–	щільність сухого ґрунту;
ρ_s	–	щільність часток ґрунту;
e	–	коефіцієнт пористості ґрунту;
Sr	–	ступінь вологості ґрунту;
φ	–	кут внутрішнього тертя;
C	–	питоме зчеплення частинок ґрунту;
E	–	модуль деформації;
Ro	–	розрахунковий опір;
d_p	–	діаметр частинок з частковим вмістом P;
P	–	сумарний частковий вміст частинок;
a и b	–	параметри залежності;
$r(P;Y)$	–	коефіцієнт кореляції;
$\sigma(Y)$ и $\sigma(P)$	–	середньоквадратичні відхилення рядів Y и P;
Y_{CP} и Y_{CP}	–	середні значення рядів Y и P;
d_{50}	–	діаметр частинок з 50% вмістом;
$v_{доп}$	–	допустима середня швидкість потоку;
R	–	гідравлічний радіус;
n_y	–	коефіцієнт умов роботи;
η	–	відносна глибина потоку;
$H_{от}$	–	глибина потоку на укоси;
m_2	–	коефіцієнт закладення укосу;
ρ_1	–	щільність ґрунту зваженого водою;
f	–	коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту в воді;
C_p	–	зчеплення частинок ґрунту при розриві в воді;

d – глибина в точці на акваторії;

A – безрозмірний параметр форми;

X – відстань від уріза води;

W_s – гідравлічна крупність частинок;

$i_П$ – середній ухил надводної частини профілю динамічної рівноваги;

g – прискорення свобідного падіння;

h_d – середня висота хвиль на глибокої воді;

V_w – швидкість вітру на висоті 2 м над рівнем моря;

L – довжина розгону (відстань від протилежного берега);

T_d – період хвиль;

λ_d – середня довжина хвиль на глибокої воді;

h_i – висота хвиль на розглянутій глибині забезпеченістю i% в системі;

k_t – коефіцієнт трансформації хвилювання;

k_r – коефіцієнт рефракції хвилювання;

k_l – коефіцієнт узагальнених втрат хвилювання;

k_i – перерахунковий коефіцієнт від середньої висоти хвиль в системі до i%;

th – гіперболічний тангенс;

d_{cr} – глибина першого обвалення хвиль;

$d_{cr,u}$ – глибина останнього обвалення хвиль;

η – перевищення вершини хвилі над розрахунковим рівнем;

η_w – висота вітрового нагону.

ВСТУП

Актуальність проблеми. Берегова смуга водних об'єктів знаходиться під впливом різноманітних природних і антропогенних факторів. Під їх дією змінюються висотні позначки берегового схилу, обрис лінії берега в плані, з'являються нові і зникають старі форми берегового схилу. Як правило характер цих змін є негативним, ширина пляжів може зменшуватись, від чого страдає рекреаційна цінність узбережжя. У такому зв'язку дослідження стану пляжів під впливом природних факторів, прогноз їх змін у часі для запобігання негативних змін є актуальним.

Це дослідження спрямоване на аналіз змін тільки під впливом природних факторів.

Стан пляжів в перспективі в основному залежить від наступних природних факторів: режиму вітрового хвилювання, рівню води і течії; обрису підводної і надводної частин берегового схилу, його позначок і механічних властивостей ґрунтів; вздовжберегового транспорту наносів. Що буде відбуватися у подальшому залежить від цих факторів: буде чи ні пляж розмиватися, буде чи ні стабільним, що буде відбуватися з пляжним матеріалом – накопичення чи змив. У цілому потрібні чи ні заходи задля його захисту. Аналіз літературних джерел [1–9] показав, що розробки за таким напрямом не знайдені.

Об'єкт дослідження – стан пляжу під впливом природних факторів.

Предмет дослідження – вплив природних факторів на стан пляжу міста Южне.

Мета дослідження – прогноз стану пляжу міста Южне, пропозиція загальних заходів його захисту від розмиву.

Завдання дослідження:

- за даними топо-геодезичних пошукувань знайти необхідні дані задля визначення розрахункових рівнів моря, швидкостей вітру, побудови профілів характерних ділянок пляжу і характеристик ґрунтів

берегового схилу;

- визначити критичну (початкову) швидкість різних форм руху пісків пляжу;
- розрахувати параметри вітрового хвилювання шторму малої забезпеченості, знайти розрахункові рівні моря, оцінити можливий приріст рівню моря за рахунок вітрового нагону;
- визначити профіль відносної динамічної рівноваги, побудувати його на характерних профілях берегового схилу пляжу міста Южне при різному стоянні рівню води і оцінити можливі зміни берегового схилу у перспективі;
- надати пропозиції захисту пляжу від розмиву в загальному віді.

Елементи наукової новизни полягають у аналізі факторів, під впливом яких відбувається деградація пляжу міста Южне, і прогнозуванні стану пляжу.

Матеріали і методи дослідження.

Інформаційною базою досліджень послужили відібрані й опрацьовані матеріали топо-геодезичних пошукувань ТОВ «Інженерний центр «Геобест», а також звіти державних і приватних підприємств, нормативна та технічна література з питань оцінки стану пляжів та проектування їх захисту.

Основними *методами досліджень* – є методи порівняльного аналізу, методи первинної статистичної обробки, методи лінійного регресійного аналізу, картографічні і графоаналітичні дослідження.

За темою кваліфікаційної магістерської роботи було опубліковано стаття у фаховому виданні за спеціальністю «101 – Екологія»: Юрасов С.М., Нагаева С.П., Грабко Н.В., Воробйов О.О. Прогноз змін стану пляжу міста Южне під впливом природних чинників. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Харківський національний університет ім. Каразіна. 2023. Вип. 39. С. 68-78.

Обсяг і структура роботи. Кваліфікаційна магістерська робота викладена на 70 сторінках комп’ютерного тексту. Вона складається із вступу,

переліку умовних скорочень, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Робота проілюстрована 16 таблицями і 24 рисунками. Список використаної літератури налічує 16 найменувань.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Географічна характеристика

Місто Южне розташоване на сході Одеської області, недалеко від границі з Миколаївською областю (рис. 1.1). На відстані приблизно 33 км в схід-північно-східному напрямку від міста Одеса.

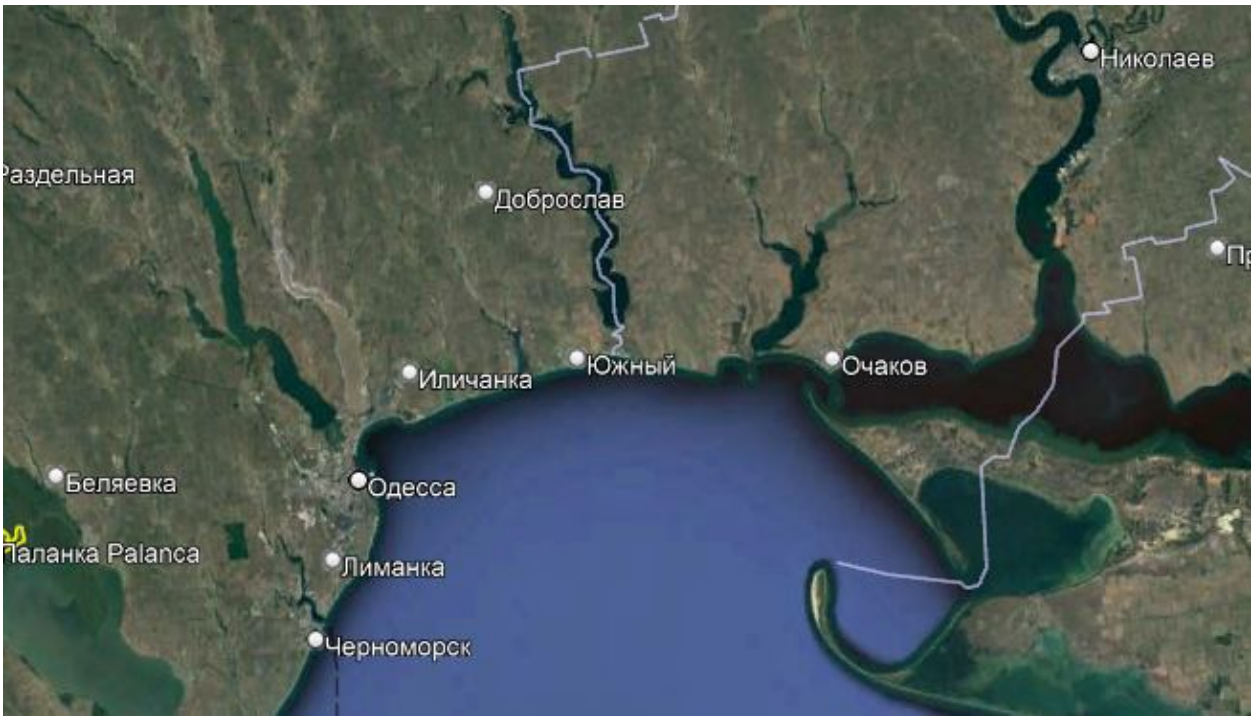


Рис. 1.1 – Розташування міста Южне

У географічному відношенні аналізований район є прибережною рівниною на півдні Причорноморської низовини, нахиленою в південно-східному напрямку і розчленованою системою долин малих річок і яружно-балковою мережею [10].

Клімат району поєднує риси континентального і морського, він помірно-континентальний і вологий. Багаторічна середня за рік температура становить 10,8°С. Загальна сума опадів в середньому складає 340–470 мм на рік. Північні і південно-західні вітри – є переважними взимку,

північнозахідні і північні – влітку. Район як і вся південна половина області схильний до посух та суховіїв.

1.2 Метеорологічні умови району дослідження

Температура повітря

Середня багаторічна середньорічна температура повітря 10?С. Найбільш холодний місяць – лютий (–1,4°С). Найбільш жаркий – липень-серпень 22,3°С [10].

Діапазон температурних коливань повітря складає 68,8°С: абсолютний максимум – «+»39,1°С і абсолютний мінімум – «–»29,7°С.

За багаторічними даними МТС Одеса-порт найбільш холодними є січень і лютий, їх середньомісячна температура відповідно дорівнює від –1,6 до –1,4°С. А самим теплим місяцем являється липень, його середньомісячна температура складає 22,4°С.

В районі дослідження перехід середньодобової температури повітря від позитивних значень до негативних спостерігається у другій половині грудня, а перехід від негативних до позитивних середньодобових температур спостерігається наприкінці лютого – початку березня. Загальна кількість днів із негативною температурою змінюється від 59 до 119. За даними Одеса порт середня багаторічна температура повітря складає 10,1°С.

Вологість повітря

Середньомісячн відносна вологість повітря змінюється в діапазоні 68 – 86 %, у абсолютних одиницях цей діапазон дорівнює 5,0 – 18,4 мб. Зв’язок відносної вологості і температури повітря протягом року зворотний. Тобто, зниження температури повітря сприяє зростанню відносної вологості і навпаки. Найбільші значення відносної вологості повітря спостерігаються в грудні – лютому. У ці місяці середньомісячна вологість досягає 86–87%. Найменша середньомісячна вологість спостерігається в липні – серпні (68–70%). Абсолютний мінімум відносної вологості спостерігався в червні – 22%.

На відміну від відносної вологості річний хід абсолютної вологості має прямий зв'язок з ходом температури повітря: найбільші значення спостерігаються у липні й серпні (18,4 і 19,1 мб).

За даними МТС Одеса-порт середня багаторічна відносна вологість дорівнює 78%, абсолютна – 11,0 мб [10].

Опади

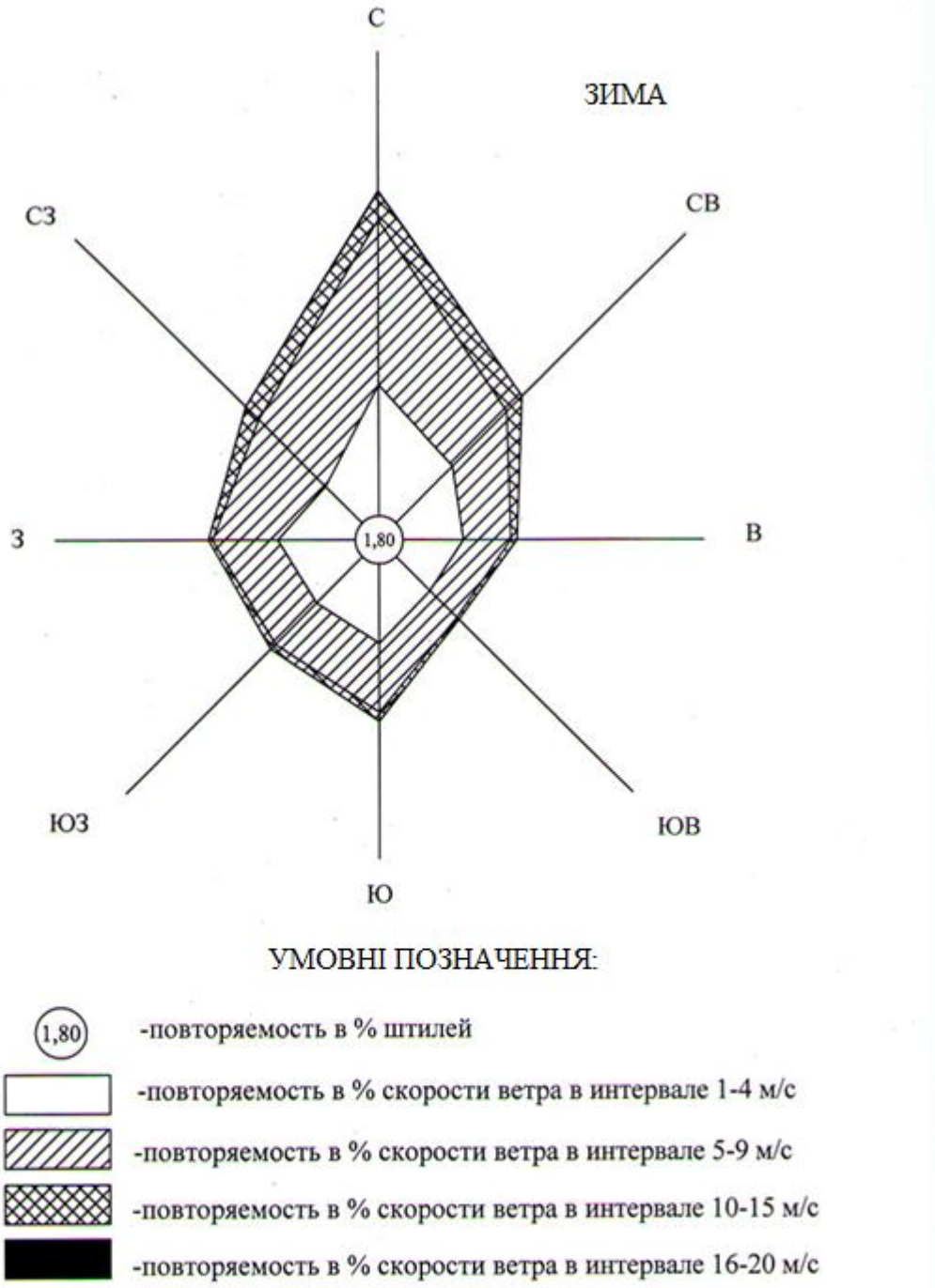
В середньому річна сума опадів складає 367 мм. Діапазон змін коливається від 300 до 576 мм у рік. Протягом року спостерігається (у середньому) 110 днів із дощем, велика частина яких приходиться на холодний період, коли спостерігаються тривалі дощі малої інтенсивності. Максимальна добова сума місячних опадів склала 134 мм. Максимальна інтенсивність досягає 2 мм у хв. (протягом 3–5 хв.).

Вітер

Середні дані за вітром (по сезонах і середньо статистичний рік) наведено на рис. 1.1–1.5 [10].

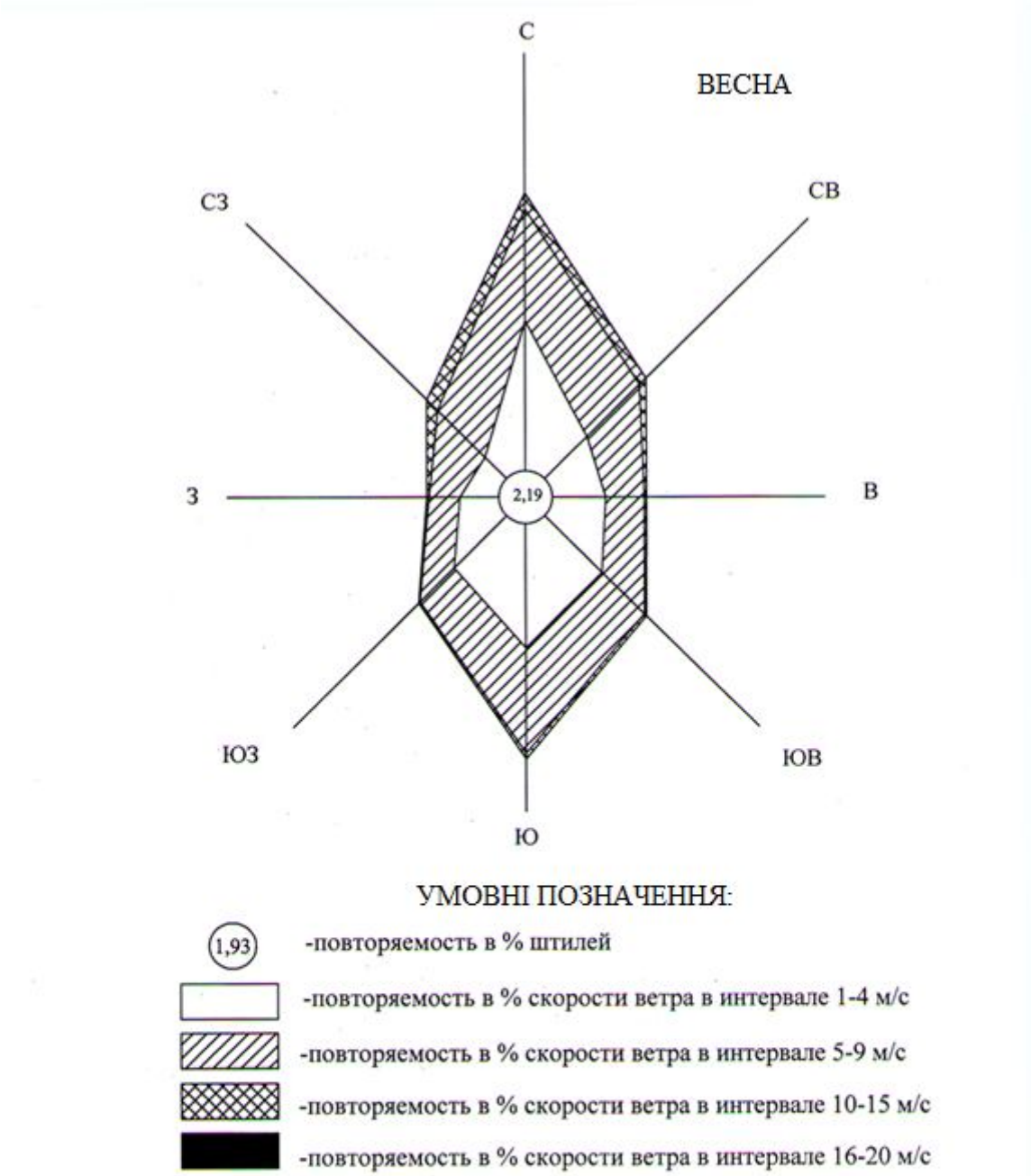
Найбільші швидкості вітру протягом року спостерігаються зимою, в цей сезон року ймовірність вітру зі швидкістю 10–15 м/с складає 7,16%. В окремі зими вона коливається від 0 до 18%. Вітри 15–20 м/с спостерігаються з ймовірністю 0,12%. Імовірність слабких вітрів складає 44,6%, середніх – 46,3%, сильних – 7,3% усіх випадків. Взимку спостерігається найбільша повторюваність сильних вітрів, найменш часті штилі – 1,8%.

У середньостатистичному році переважними для даного району є вітри північного і південного напрямків (повторюваність 26,0 і 15,9%, відповідно). Протягом середньостатистичного року повторюваність слабких вітрів (1–4 м/с) дорівнює 49,3%, сильних (більш 15 м/с) 0,04%. На частку штилів проходиться 1,9%. Число днів із вітром 5–15 м/с протягом середньостатистичного року 48,7%. Від року до року ця величина може мінятися від 10 до 80%. Протягом року на Північно-західній частині Чорного моря один раз у 15 років може спостерігатися миттєва швидкість більш 35 м/с, а один раз в 50 років більш 40 м/с.



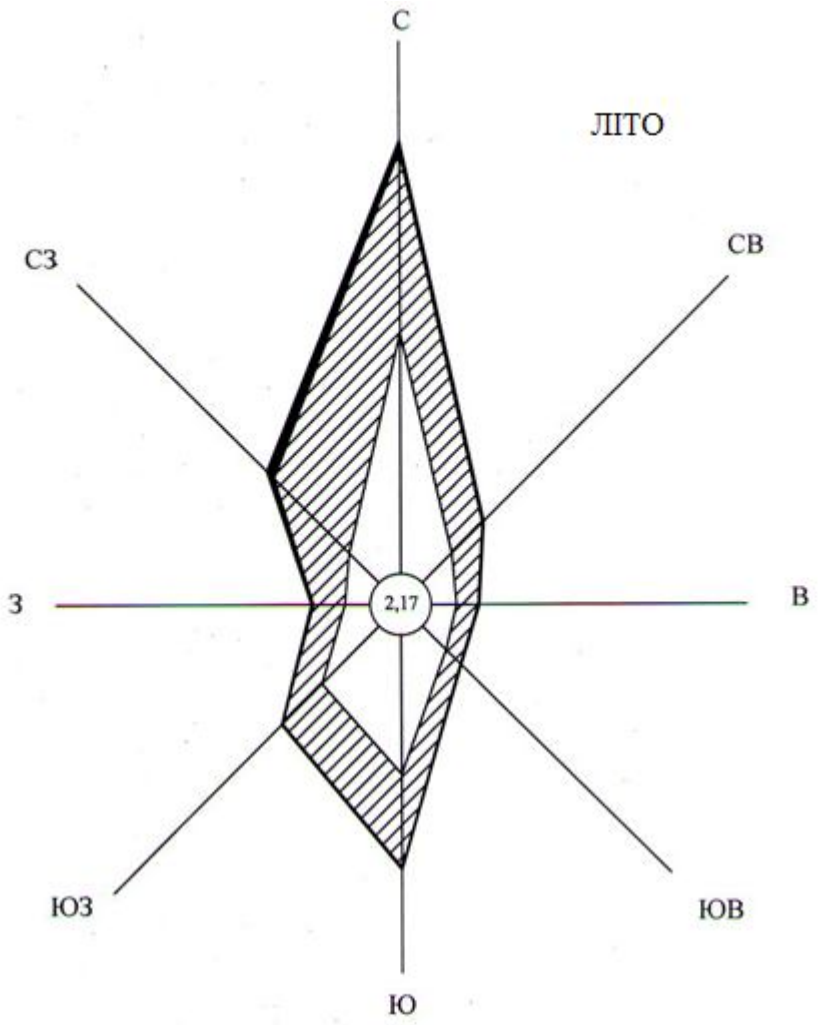
град. направление / скорости, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	Сумма
штиль									1,80	1,80
1-4	9,84	6,03	4,55	3,62	5,96	4,87	5,84	3,89		44,60
5-9	12,47	5,79	3,55	2,82	5,24	4,42	4,90	7,11		46,31
10-15	2,13	1,60	0,42	0,23	0,62	0,49	0,30	1,37		7,16
16-20	0,10		0,02							0,12
более 20										
Сумма	24,55	13,42	8,54	6,68	11,82	9,79	11,04	12,36	1,80	100

Рис. 1.2 – Роза вітрів взимку в районі м. Южне



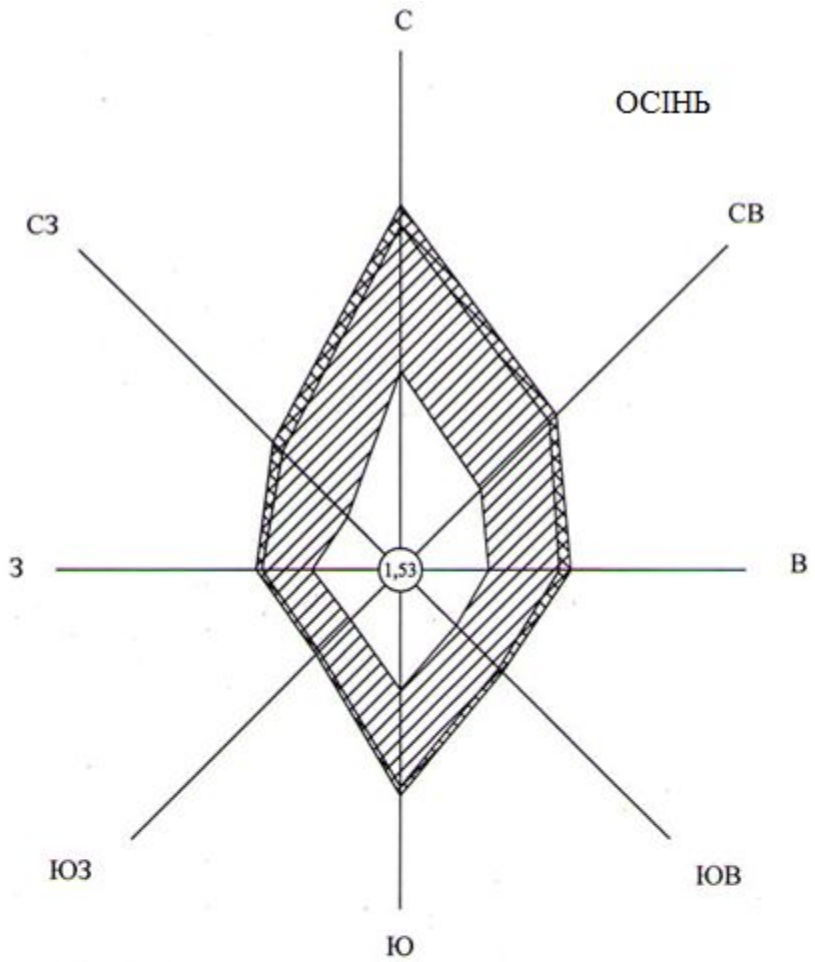
град. скорости, м/с \ направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	Сумма
штиль									2,19	2,19
1-4	12,40	4,91	4,36	6,63	10,28	6,09	3,17	2,48		50,32
5-9	9,28	6,07	3,13	3,73	8,68	3,96	2,54	5,49		42,90
10-15	1,31	0,74	0,19	0,24	0,45	0,16	0,20	1,26		4,55
16-20	0,04									0,04
более 20										
Сумма	23,04	11,73	7,68	10,60	19,41	10,21	5,91	9,23	2,19	100

Рис. 1.3 – Роза вітрів навесні в районі м. Южне



град. скорости, м/с \ направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	Сумма
штиль									2,17	2,17
1-4	18,52	4,46	3,27	3,86	11,31	7,24	3,29	4,47		56,43
5-9	12,86	3,05	1,54	1,40	6,57	3,99	2,22	7,51		39,13
10-15	0,82	0,14	0,10	0,09	0,16	0,10	0,15	0,71		2,26
16-20										
более 20										
Сумма	32,20	7,64	4,91	5,36	18,04	11,32	5,66	12,69	2,17	100

Рис. 1.4 – Роза вітрів влітку в районі м. Южне



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

1,93 -повторяемость в % штилей

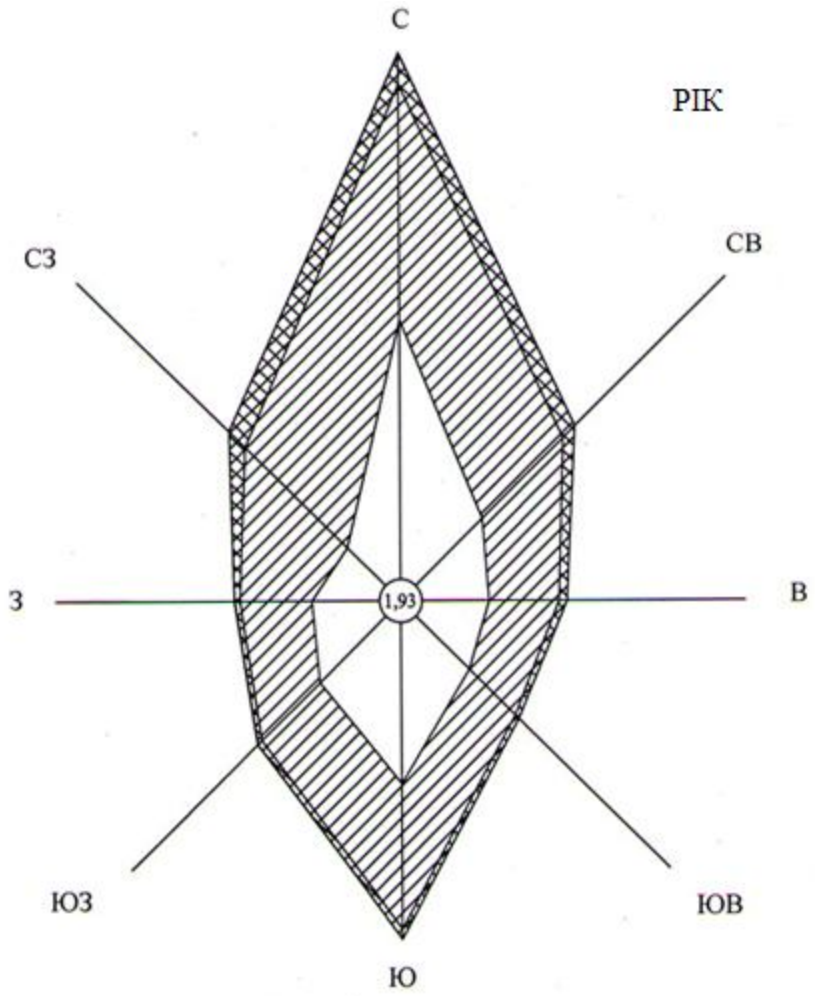
-повторяемость в % скорости ветра в интервале 1-4 м/с

-повторяемость в % скорости ветра в интервале 5-9 м/с

-повторяемость в % скорости ветра в интервале 10-15 м/с

град. скорости, м/с \ направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	Сумма
штиль									1,53	1,53
1-4	12,59	6,54	4,53	4,05	6,96	3,48	4,43	3,37		45,95
5-9	10,31	6,64	4,99	4,25	6,82	3,04	3,87	6,94		46,86
10-15	1,47	0,70	0,82	0,39	0,62	0,31	0,40	0,95		5,65
16-20										
более 20										
Сумма	24,37	13,87	10,35	8,69	14,40	6,83	8,70	11,25	1,53	100

Рис. 1.5 – Роза вітрів восени в районі м. Южне



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

1,93 -повторяемость в % штилей

-повторяемость в % скорости ветра в интервале 1-4 м/с

-повторяемость в % скорости ветра в интервале 5-9 м/с

-повторяемость в % скорости ветра в интервале 10-15 м/с

-повторяемость в % скорости ветра в интервале 16-20 м/с

град. скорости, м/с \ направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	Сумма
штиль									1,93	1,93
1-4	13,30	5,48	4,18	4,56	8,63	5,43	4,18	3,54		49,31
5-9	11,22	5,40	3,30	3,06	6,84	3,86	3,38	6,75		43,80
10-15	1,44	0,80	0,38	0,23	0,46	0,27	0,26	1,08		4,92
16-20	0,036		0,004							0,04
более 20										
Сумма	25,99	11,68	7,87	7,86	15,93	9,56	7,83	11,37	1,93	100

Рис. 1.6 – Річна роза вітрів в районі м. Южне

Ймовірність слабких вітрів навесні зростає до 48%, а сильних – знижується до 0,61%. За увесь період спостережень тільки 1 раз навесні спостерігався вітер із швидкістю більш 20 м/с.

Найбільша ймовірність вітру за напрямками дорівнює: північний – 23,0%; північно-східний – 11,7%; південно-східний – 10,6%; південний – 19,4%; південно-західний – 10,2%. У цей сезон ймовірність східних вітрів найменша – 5,9%.

Ймовірність вітрів зі швидкістю до 4 м/с становить 50,3%. Вітри, зі швидкістю від 5 до 9 м/с – 42,9%, в інтервалі 10–15 м/с – у 4,6%. За увесь час спостережень два рази зафіксовано вітер із швидкістю 20 м/с західного напрямку.

Штиль складає 2,2% усіх спостережень.

Восени переважними напрямками вітру є: північний (24,4%); північно-східний (13,9%) і південний (14,4%).

Слабкі вітри (1-4 м/с) складають 46,0% усіх випадків спостережень, 5-9 м/с – 46,9%, 10-15 м/с – 5,6%, вітри зі швидкістю більш 16 м/с не були зареєстровані. Штилі складають 1,5% випадків спостережень.

1.3 Гідрологічні умови

Рівень моря

Размах коливань рівня моря складає 2,9 м. Найвищий зафіксований рівень моря мав позначку «+»0,67 м БС, а найнижчий «–»2,23 м БС [10]. Середній багаторічний рівень моря має позначку «–»0,32 м БС.

Тут же спостерігаються сейшеподібні коливання рівня. Їх період складає приблизно півдоби, а амплітуда – 15 до 20 см.

Неперіодичні коливання рівня обумовлені дією сильних вітрів різних напрямків і відрізняються дуже значною амплітудою. При проектуванні морських гідротехнічних споруд (утому числі і портових споруд), ці коливання рівню моря приймаються в якості розрахункових.

Найбільші коливання рівня моря носять згінно-нагіний характер, і амплітуда їхній за даними МТС Одеса – порт за багаторічний період складає 290 см. У розглянутому районі моря у листопаді 1981 року в результаті дії згінно-нагінний вітрів позначка рівня змінилася від «+»62 до «–»139 см БС.

Найбільш суттеві коливання рівня моря обумовлені дією штормових вітрів згінного (Пн-Пн-З, Пн, Пн-Пн-С) і нагійного (Пд-Пд-С, Пд-С і Пд-Пд-С) напрямків.

При сильних Пн-Пн-З вітрах рівень знижується на 1,5 м і більш, а при дії Пд-Пд-С вітру такої ж сили підвищується на 0,7 м і більш.

Температура води

За даними спостережень середня температура морської води на поверхні в розглянутому районі за останні 50 років складає 11°С. Найнижча середньомісячна температура води спостерігається в лютому – 0,9°С, найвища – у липні-серпні – 20,5°С.

Мінімальна температура води склала мінус 1,3°С, максимальна – 28,6°С.

Коливання температури води мають сезонний характер, і з деяким запізнюванням повторюють хід температури повітря.

Хвилювання

В районі порту Южний протягом року найбільша повторюваність хвилювання спостерігається в північному (23,4% усіх випадків спостережень) та південному (23,0%) напрямках. В інших напрямках повторюваність хвилювання змінюється від 7,2% до 11,0%.

Штилі складають 1,6%.

Повторюваність хвилювання з висотою хвиль менш 0,25 м становить 56,0% усіх випадків спостережень (сумарно в середньому 204 доби протягом року). Висота хвиль в діапазоні від 0,3 до 0,75 м спостерігалася з ймовірністю 29,3% (106 діб протягом року). Ймовірність хвилювання в 3 бали (0,75–1,25 м) складає 9,4% (34 доби). В діапазоні висот 1,3-2,2 м – 4,9% (18 діб). Понад 2,0 м ймовірність складає 0,35%, що відповідає 1,3 доби. При

середньої тривалості шторму 0,5 діб, це відповідає 2-3 рази на рік.

Усі випадки хвилювання зі висотою більш 2 м спостерігалися з південного і південно-східного напрямків.

Параметри хвилювання в штормах південного напрямку з повторюваністю один раз в 25 і 50 років становлять: висота хвиль з забезпеченістю 1% в системі дорівнює 5,4 і 5,8 м; середня довжина хвиль – 80 і 90 м.

Льодовий режим

Зима в досліджуваному районі, як і по всьому півдні України, хитлива з частими відлигами, тому льодовий режим також відрізняється великою нестійкістю [10].

Льодовий покрив у лимані відрізняється наступними особливостями: льодостав починається з мілководної північно-східної частини лиману; у першу чергу утворення біля берега і на мілководді крижаних голок, з яких формуються плями крижаного сала, а при легкому хвилюванні – шуги. Ширина за берегів росте від 50 до 60 м і при подальшому наростанні суми негативних температур утвориться припай, повне замерзання лиману.

Проміжок часу від появи льоду до повного замерзання від року до року може мінятися у великих межах: від декількох днів до 1,5 місяця.

Товщина льоду в лимані й у середньому в зиму, середню по суворості, складає 15 см.

Льодові умови в лимані через постійне руйнування льоду судами і буксирами навіть у суворі зими м'якше, ніж на узмор'я и у районі підхідного каналу до порту Южний.

Льодовий режим у північно-західній частині Чорного моря має дуже велику мінливість: лід був відсутній або з'являвся в початкових формах у 18 з 26 зим. У суворі зими (у середньому одна зима з 10) у морі утвориться припай – нерухомий лід.

В суворі зими товщина припайного льоду може досягати (без підсовів і торосів) 0,55 м:

– розрахункова товщина льоду 0,6 м;

– солоність льоду 3‰;

– середньодобова температура повітря за троє доби до впливу льоду на спорудження 3°С;

– середня швидкість руху полючи 0,2 м/с;

– максимальна швидкість вітру над припаєм 20 м/с.

1.4 Гідрохімічна характеристика

Чорне море є типовою двошаровою структурою з водами зниженої солоності у верхньому шарі і водами підвищеної солоності в нижньому шарі. Їх поділяє шар вод основного пікноклину, наявність та характеристики якого визначаються насамперед зміною солоності. Термохалінні характеристики верхнього шару визначаються впливом річкового стоку та сезонних коливань температури, обмінних горизонтальних та вертикальних процесів у воді та потоків на поверхні моря. Термохалінні показники нижнього шару визначаються, передусім, впливом вступників з нижньобосфорським перебігом мармуроморських вод, і навіть процесів вертикального обміну. [10].

Просторово-часові особливості розподілу гідрохімічної структури поверхневого шару вод Чорного моря, а також всіх інших регіонів Світового океану, що визначаються обміном на кордонах з берегом, атмосферою та донними відкладеннями, фізичними процесами перенесення, біологіко-хімічними та геохімічними процесами продукції та трансформації органічної речовини.

Основними джерелами надходження біогенних елементів є береговий стік, атмосферні випадання, окислення органічної речовини у підповерхневих водах та поверхневих донних відкладах. Як результат берегового стоку в прибережних районах моря, насамперед на північно-західному шельфі та в районах західного та кримського узбережжя,

формуються зони підвищеного вмісту сполук азоту, фосфору та кремнію. Це визначає високу інтенсивність первинно продукційних процесів, продукцію кисню та органічної речовини у поверхневому шарі вод, активне споживання кисню для окислення осідаючої органічної речовини у придонному шарі вод та на поверхні донних відкладень, виникнення прибережних зон дефіциту кисню.

Глибина появи сірководню змінюється акваторією глибоководної частини Чорного моря від 80-110 м у центрі до 160-250 м на периферії. Вертикальний розподіл сірководню в анаеробній зоні моря характеризується наявністю лінійної ділянки до глибин 500-800 м, багаторазовим зменшенням вертикального градієнта концентрації в шарі 800-1200 м, слабким збільшенням концентрації сірководню з 1200-1700 м, стрибком концентрації на верхній межі та відносно однорідним розподілом сірководню всередині придонного шару.

Солоність і температура морської води визначають її густину. Біля гирла річок і біля Керченської затоки густина найменша –1,01 г/дм^3. В бік відкритого моря вона зростає до 1,02 мг/дм^3. З глибиною теж спостерігається така тенденція: до 80 м густина зростає до 1020 мг/дм^3, а далі залишається постійною.

Кількість кисню на поверхні води становить від 4 до 7 см?/дм^3. Зі зростанням глибини до 200 м концентрація кисню різко зменшується приблизно до 0,5 см?/дм^3. Така концентрація кисню не достатня для підтримання життя гідробіонтів за винятком кількох видів бактерій. Друга перешкода для розвитку організмів нижче 200 м глибини виникає за рахунок високої концентрації сірководню. На глибині 2000 м вона досягає до 6–7 см?/дм^3.

Прозорість води у Чорному морі може досягати до 16–22 м на глибині. Вона є низькою в прибережних районах (2–3 м) і високою в центральних частинах моря (20–27 м).

У червні 2023 року [17], після підриву Каховської ГЕС та витоку великої кількості води з Каховського водосховища, в морі поблизу узбережжя Північно-Західної частини Чорного моря різко знизилась солоність води приблизно в 2,7–2,9 разів (за повідомленням Державної екологічної інспекції Південно-Західного округу Державної екологічної інспекції України). У морській воді за результатами лабораторних досліджень виявлено перевищення: завислих речовин – до 1,6 разів, заліза загального – від 3,4 до 9 разів, амонійного азоту – у 10–15 разів. Станом на 9, 10, 11 червня 2023 року, згідно повідомлення Державної екоінспекції Південно-Західного округу, рівень солоності води на узбережжі моря поблизу м. Одеси складав 2,5‰, що в 6 разів нижче за норму.

Табл. 1.1 – Показники якості води в районі п. Южний [17].

№	Показник	Од. вим.	п. Южний
1	*Температура води*	^{o}C	22,3
2	*Солоність*	‰	14,5
3	*pH*	ед. pH	8,0
4	O_2	мгO_2/дм^3	7,0
5	$БСК_5$	мгO_2/дм^3	2,3
6	*Азот нітритний*	мг/дм^3	0,006
7	*Азот амонійний*	мг/дм^3	0,7
8	*Азот нітратний*	мг/дм^3	3,0
9	*Фосфор загальний*	мг/дм^3	0,03
10	*Завислі речовини*	мг/дм^3	11,8
11	*Прозорість*	м	1,9

1.5 Гідробіологічна характеристика

Фітопланктон. У районі фітопланктон представлений 627 видами і внутрішньовидовими таксонами водоростей, які належать до 11 відділів. Його основу становлять діатомові (35,7%) та дінофітові (31,2%) водорості [118]. Діатомові водорості, що мешкають у двох біотопах – планктоні та

бентосі, представлені морськими, солонуватоводно-морськими та прісноводними, прісноводно-солоноватоводними видами. В даний час серед них найбільшою різноманітністю характеризуються роди *Chaetoceros, Thalassiosira* та *Nitzschia*. Динофітові водорості у фітопланктоні представлені в основному морськими видами (81,2%), чисельність прісноводних та прісноводно-солоноватоводних видів невелика (18,8%). Усього вони налічують 196 видів. Найбільше видове розмаїття цієї групи водоростей відзначено для пологів *Peridinium, Gymnodinium і Glenodinium* [10].

Зоопланктон. У складі чорноморського зоопланктону налічується близько 120 видів організмів, а також 20 видів пелагічних личинок донних безхребетних [10].

Серед представників мікрозоопланктону важливу роль відіграють найпростіші бактерії, що споживають, нанобактерії та еукаріотні водорості. До них входять багато видів коловраток та інфузорії.

У складі планктону ідентифіковано понад 167 форм інфузорії, з яких 125 визначено до виду. Панівне становище займають інфузорії з класів *Oligotrichea, Litostomatea* та *Nassophore*. Декілька видів, інтенсивно розвиваючись протягом усього року, формують ядро спільноти, а саме: *Myrionecta rubra, Pelagostrobilidium spirale, Strombidium vestitum, S. emergens, S. conicoides*, деякі види пологів *Holophrya* та *Urotricha.*

Бентос. На шельфі Чорного моря зареєстровано 305 таксонів макробентосу (хробаків – 98, ракоподібних – 102, молюсків – 68, інших – 36) [118, 124]. Найбільшого розвитку досягли евригалінні, евритермні, евріоксибіонтні та евритопні види. Переважна кількість видів бентосних тварин мають середземноморсько-атлантичне походження.

Основу чисельності макрозообентосу в прибережній зоні складають ракоподібні, поліхети та двостулкові молюски, основу біомаси – молюски, ракоподібні та поліхети. Зі збільшенням глибини показники ракоподібних різко знижуються. На глибині понад 10 м на мулистих ґрунтах, як правило, домінують поліхети, на піщано-черепашкових – двостулкові молюски. На

глибинах 15-50 м вздовж усього морського узбережжя розвинений мідієвий біоценоз. На деяких ділянках біомаса їх перевищує 4 кг/м^2.

Іхтіофауна. Зі 150 видів та підвидів риб, що мешкають на шельфі Чорного моря, основна частина представлена видами середземноморського походження (60-70 %). Перед другий за кількістю видів групи – понто-каспійських реліктів, припадає 10-25 %. До них відносяться осетрові, оселедці, тюльки, бички, перкарину. Велика роль у складі іхтіофауни належить рибам, що утворюють холодноводний комплекс. До них відносять акулу катрана, шпроту, або чорноморську кільку, голяка, або мерланга (мерланку), чорноморського лосося, або кумжу. Особливе місце у складі іхтіофауни займають риби-вселенці: кефаль піленгас, сонячник [10].

2. ВІДОМОСТІ ПРО ДІЛЯНКУ ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИХІДНІ ДАНІ

2.1 Розташування пляжу

Досліджувана ділянка розташована в межах пляжної зони м. Южне (рис. 2.1), яка в свою чергу є частиною Чорноморського узбережжя Одеської області.

Рис. 2.1 – Пляж м. Южне довжиною приблизно 700 м (АВ)

Метою роботи є прогноз змін стану пляжу міста Южне, пропозиції загальних заходів щодо забезпечення його рекреаційної цінності.

2.2 Вихідні дані

Вихідні дані для виконання досліджень надані в [11]. На рис. 2.2 і 2.3 представлені план пляжу та його інженерно-геологічний розріз 1–1.

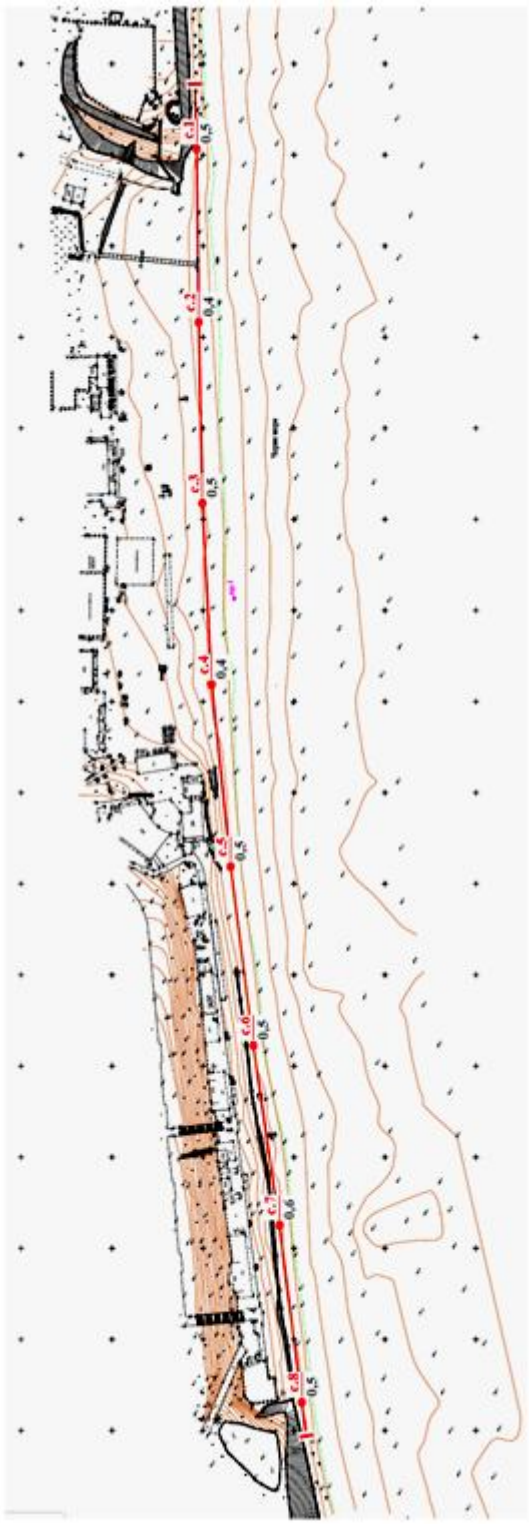


Рис. 2.2 – План пляжу з розташуванням свердловин *с*.1–*с*.8.

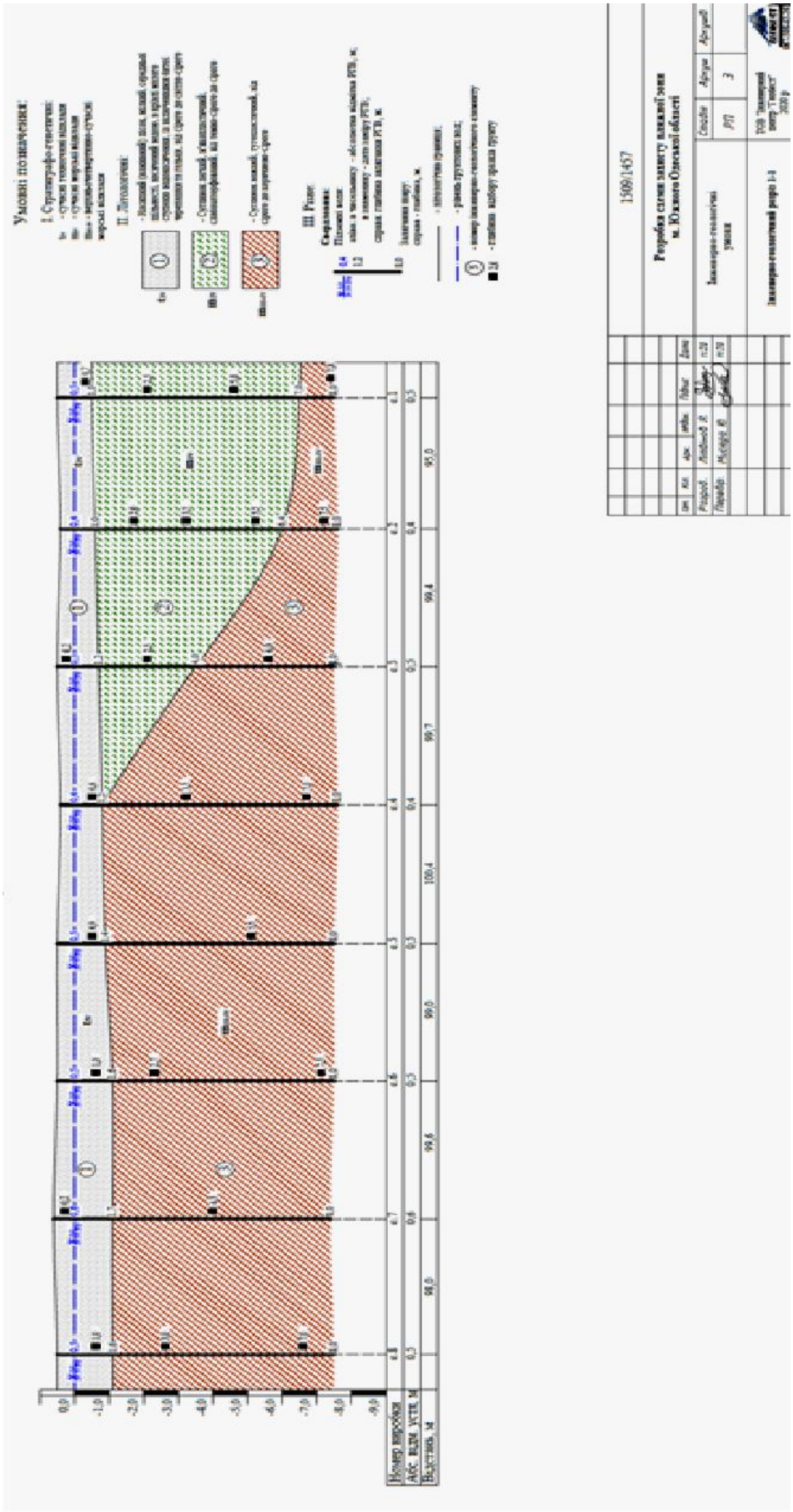


Рис. 2.3 – Інженерно-геологічний розріз 1–1

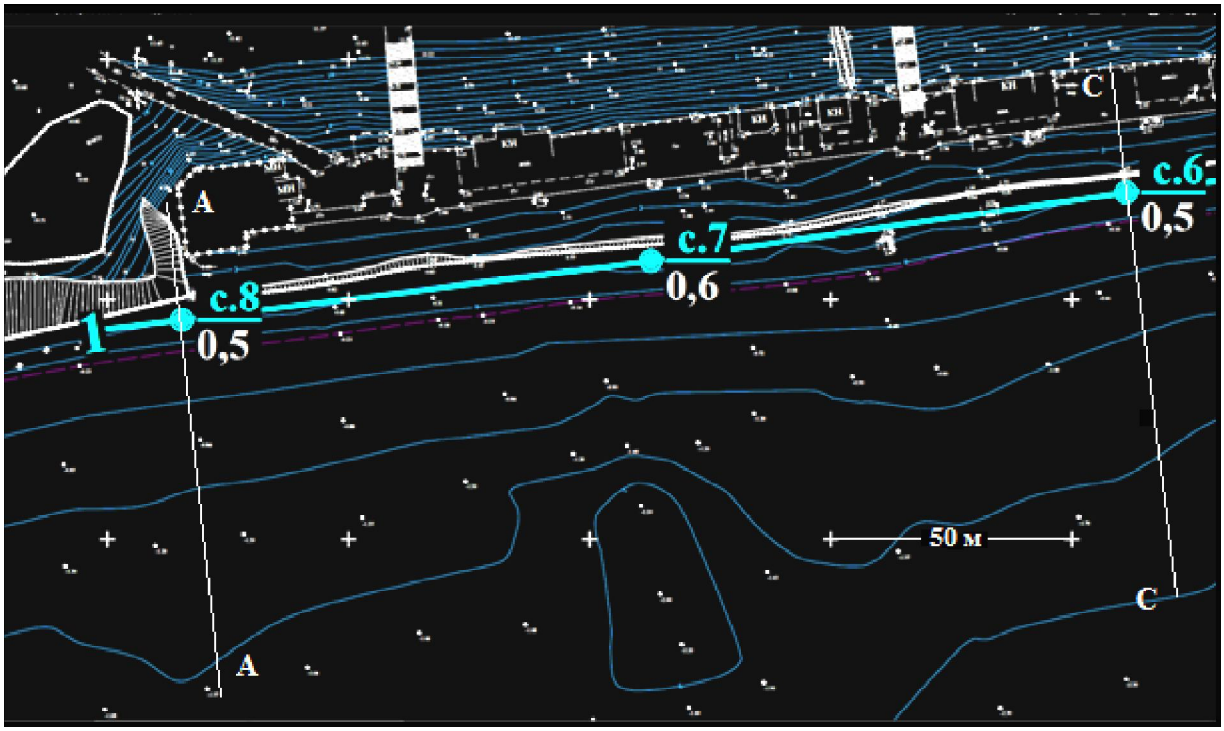


Рис. 2.4 – Ділянка пляжу з свердловинами *с.*8–*с.*6 і з розрізами *А-А* та *С-С*

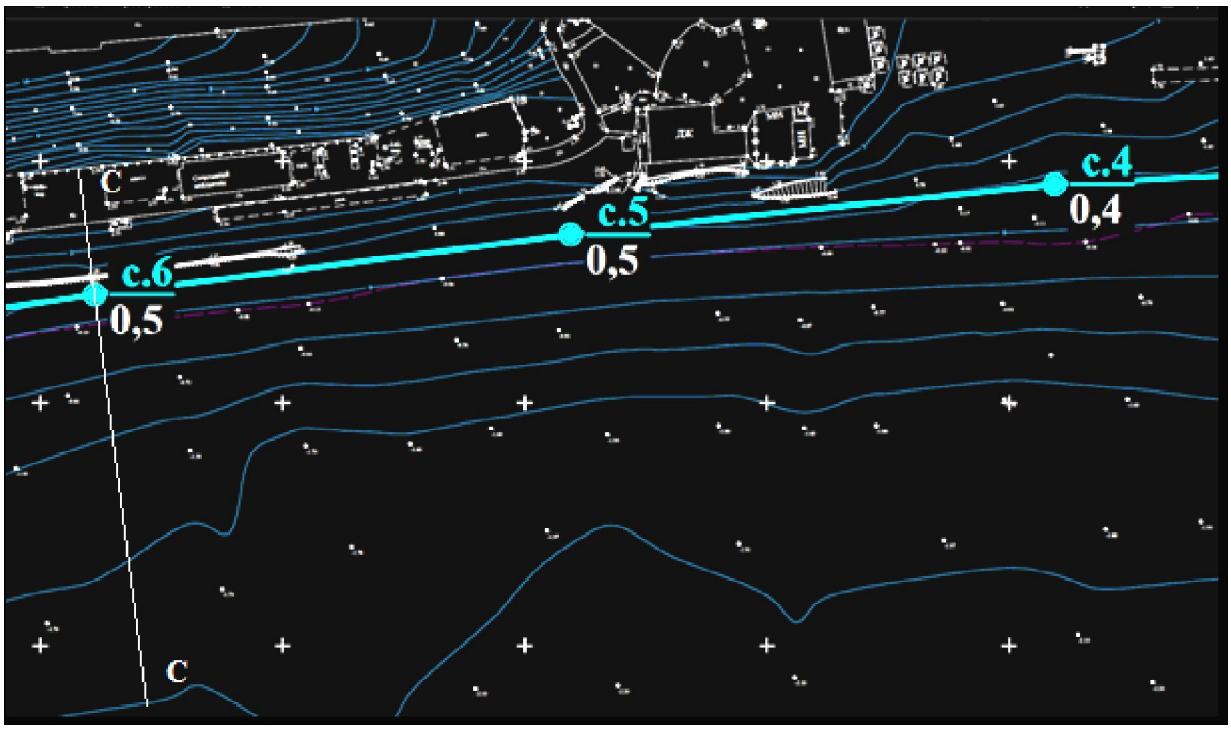


Рис. 2.5 – Ділянка пляжу з свердловинами *с.*6–*с.*4 і з розрізом *С-С*

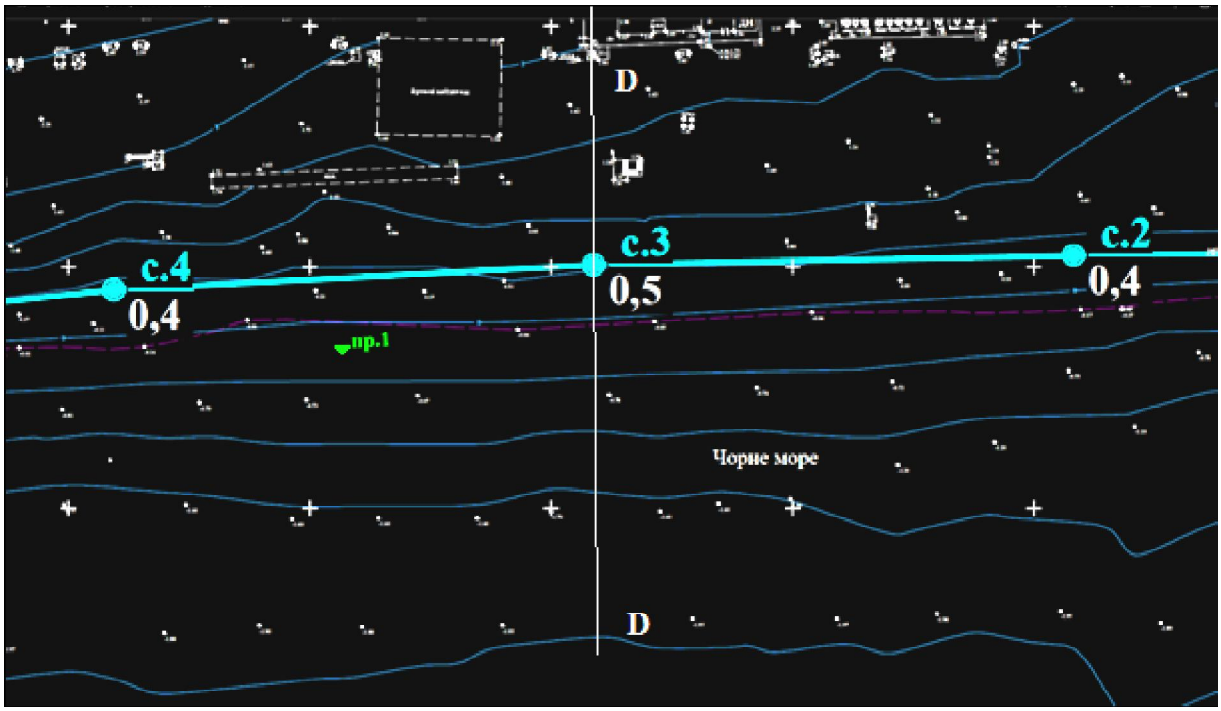


Рис. 2.6 – Ділянка пляжу з свердловинами *с.*4–*с.*2 з і розрізом *D-D*

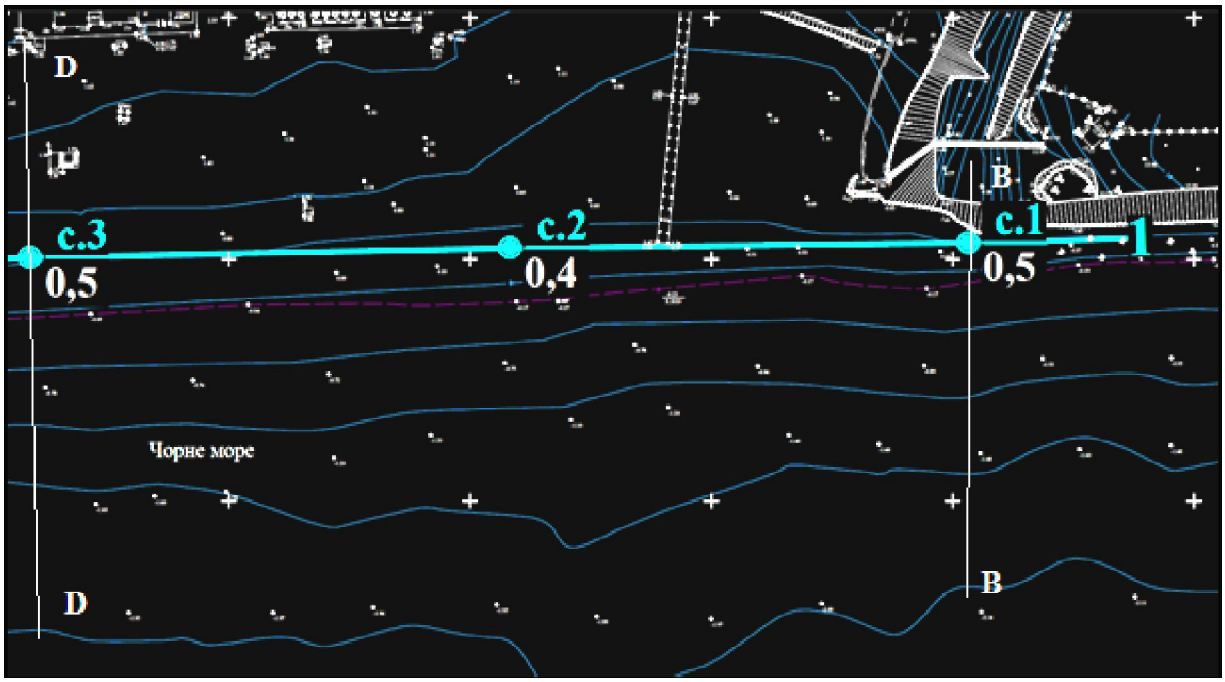


Рис. 2.7 – Ділянка пляжу з свердловинами *с.*3–*с.*1 і з розрізами *D-D* і *B-B*

На поверхні пляжу біля урізу води (рис. 2.3) знаходиться дрібний (намивний) пісок, середньої щільності з товщиною шару від 1,0 до 1,5 м. Під шаром піску на ділянці від свердловини *с.*8 до *с.*4 від позначки «–»0,10 м БС знаходиться важкий суглинок шаром більш 8 м. На ділянці пляжу від *с.*4 до

с.1 – легкій суглинок з товщиною шару від 0 м (*с*.4) до 6,4 м (*с*.2) та 7,0 м (*с*.1). шар легкого суглинку знаходиться на важкому суглинку.

Корінний беріг пляжу складений важким і легким суглинками, яки легко руйнуються водою.

На рис. 2.4–2.7 наведено ділянки пляжу з свердловинами і розрізами *A-A, B-B, C-C* та *D-D*. Параметри профілів берегового схилу на розрізах наведено в табл. 2.1.

Табл. 2.1 – Параметри профілів берегового схилу за розрізами *A-A, B-B, C-C* та *D-D*

Позначка, м БС	Відстань до позначки за профілями, м			
	A-A	*B-B*	*C-C*	*D-D*
4,0	-14,7		-36,0	
3,0	-13,2	-9,6	-20,6	-70,0
2,5	-12,5	-9,2	-19,0	-61,0
2,0	-11,8	-8,8	-16,9	-34,0
1,5	-10,3	-7,4	-13,2	-26,0
1,0	-7,4	-6,6	-10,3	-17,0
0,5	-4,4	-4,4	-5,9	-11,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-0,5	12,5	11,8	8,8	11,8
-1,0	30,9	27,2	20,6	27,2
-1,5	53,7	42,6	30,9	42,6
-2,0	79,4	70,6	79,4	70,6

В табл. 2.1 надані параметри профілів надводної і підводної частин берегового схилу за розрізами на рис. 2.4 – 2.7.

В табл. 2.2 – 2.4 поміщені результати геологічних і гідрологічних спостережень за даними [11].

Таблиця 2.2 – Характеристики піску за даними спостережень

№ проб	Гранулометрічний склад, % фракции (мм)								*W, %*	Щільність, г/см^3			*e*
	10-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005		ρ	ρ_d	ρ_s	
1	3,6	10,3	13,6	17,4	35,9	10,3	5,6	3,3	25,9	1,92	1,53	2,65	0,738
2	4,5	11,5	12,1	12,3	32,0	13,6	7,4	6,6	10,4	1,85	1,68	2,65	0,581
3	5,2	16,3	14,5	19,9	33,8	5,5	2,1	2,7	26,8	1,91	1,51	2,65	0,759
4	1,5	10,2	11,2	21,2	34,8	11,5	4,2	5,4	27,2	1,89	1,49	2,65	0,783
5	10,2	9,8	9,5	18,4	32,9	13,6	3,2	2,4	25,1	1,93	1,54	2,65	0,718
6	1,2	10,1	18,4	19,4	37,8	10,3	1,3	1,5	22,4	1,84	1,50	2,65	0,763
7	3,9	9,8	15,6	20,1	35,6	9,9	2,4	2,7	27,5	1,88	1,47	2,65	0,797
Сер.	**4,3**	**11,1**	**13,6**	**18,4**	**34,7**	**10,7**	**3,7**	**3,5**	**23,6**	**1,89**	**1,53**	**2,65**	**0,734**

Таблиця 2.3 – Максимальні річні рівні моря від
єдиного «0» рівнемірних постів

Рік	Рівень, см	Рік	Рівень, см	Рік	Рівень, см	Рік	Рівень, см
1993	510	2000	534	2007	539	2014	524
1994	519	2001	540	2008	527	2015	558
1995	527	2002	533	2009	532	2016	545
1996	523	2003	546	2010	546	2017	542
1997	527	2004	543	2011	536	2018	553
1998	540	2005	552	2012	542	2019	530
1999	551	2006	541	2013	541		

Таблиця 2.4 – Середні річні рівні моря від
єдиного «0» рівнемірних постів

Рік	Рівень, см	Рік	Рівень, см	Рік	Рівень, см	Рік	Рівень, см
1993	478	1997	485	2001	491	2018	503
1994	481	1998	495	2002	494	2019	496
1995	486	1999	497	2003	485		
1996	484	2000	491	2004	495		

Таблиця 2.5 – Позначки «0» порту, водомірних постів та характерних рівнів моря

Позначка “0” порту	"–"0,66 м БС
Позначка “0” водомірного поста	"–"3,49 м БС
Позначка ”0” промірних робіт:	"–"0,40 м БС
Рівень моря забезпеченістю 98%	"–"0,40 м БС
Единий "0" рівнемірних постів	"–"5,00 м БС
По середнім річним рівням	
50% забезпечення, см	490 ("–"0,10 м БС)
1% забезпечення, см	507 ("+"0,07 м БС)
По найвищім річним рівням:	
Рівень 50 % забезпечення, см	537 ("+"0,37 м БС)
Рівень 25 % забезпечення, см	544 ("+"0,51 м БС)
Рівень 10 % забезпечення, см	551 ("+"0,51 м БС)
Рівень 5 % забезпечення, см	556 ("+"0,56м БС)
Рівень 1 % забезпечення, см	563 ("+"0,63 м БС)

Морське хвилювання в районі Южного вимірюється візуально. Результати статистичної обробки спостережень поміщені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Повторюваність висот хвиль 1979-2005 рр. [11].

Направл, градации	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль	Сумма
< 0,25	20,26	4,74	3,92	2,64	6,54	3,48	5,40	7,43	1,56	55,97
0,3-0,75	2,62	2,22	3,75	2,98	9,58	2,66	2,25	2,96		29,29
0,8-1,25	0,46	0,36	1,08	1,88	3,99	0,75	0,40	0,48		9,40
1,3-2,0	0,06	0,18	0,79	0,78	2,62	0,26	0,12	0,09		4,90
>2,0				0,05	0,30					0,35
Сумма	23,4	7,5	9,54	8,33	23,03	7,15	8,44	10,96	1,56	100,0

3 ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТАН ПЛЯЖУ І РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

3.1 Загальні уявлення про природні фактори впливу на стан пляжу

Абразією називають руйнування (зниження і вирівнювання) берегового схилу водних об'єктів під впливом хвиль. Частота і сила вітрового хвилювання, коливання рівня води, властивості гірських порід, що складають берегової схил, це природні чинники її інтенсивності. Абразія визиває створення особливих форм рельєфу, їх називають абразійними берегами: платформи або тераси, нахилені до води, підводні похилі поверхні, надводні уступи в твердих породах, ніші, бухти.

Створення абразійних берегів полягає в переміщенні продуктів руйнування берега у підводну частину берегового схилу, де вони осідають, формуючи тераси.

К абразійним специфічним формам рельєфу відносять: абразійні уступи (кліфи), хвилеприбійні ніші, кекури («отпрядиші»), підводні тераси (бенчи) та ін. Такий процес переформування берегу часто називають механічною абразією. Слабкі гірські породи, великий ухил підводної частини берегового схилу і шторми з великою енергією сприяють великої швидкості абразії (джерела вказані в [14]).

Основними природними чинниками, що впливають на інтенсивність абразії, з врахуванням перспективи геологічного масштабу, є:

1) режим вітрового хвилювання і рівня води;

2) ухил поверхні і позначки надводної та підводної частин берегового схилу (морфометричні характеристики);

3) властивості ґрунтів берегового схилу – гранулометричний склад, щільність, пористість, зчеплення частинок.

До чинників антропогенного впливу на процеси абразії відносяться:

1) перешкоджання вздовжбереговому транспорту наносів (будова гідротехнічних споруд в приурізовій зоні;

2) зміна абрісу берегового схилу в результаті добування будівельних матеріалів, днопоглиблення тощо;

3) знищення захисного рослинного шару берегів, що зміцнює схил.

Режим вітрового хвилювання і рівня води. Формування берегової смуги під впливом штормів залежить не тільки від сили штормів і частоти їх виникнення, але також від стояння рівня води та кута підходу фронту хвиль до лінії берега.

При високому стоянні рівню води хвилі впливають на береговий схил далі, ніж при низькому стоянні. Вони можуть вже досягати кліфа и руйнувати його.

Від напрямку дії хвилювання залежить, куди будуть переміщатися ґрунти берегового схилу: тільки поздовж абрису з формуванням профілю відносної динамічної рівноваги ПВДР, або поширюватися уздовж берега. Від частоті виникнення штормів різних напрямків й сили залежить інтенсивність переформування берегової лінії у плані та висотних позначок берегового схилу.

Фронтальні до берегової лінії шторми рідкісної повторюваності при високому стоянні рівня мають найбільш сильний вплив на берег і здатні привести до значних змін його обрисів. При них часто відбувається руйнування корінного берега.

Від напрямку вітру по відношенню до берегової лінії залежить виникнення згону або нагону води з відповідною зміною рівня моря.

На розвиток згонно-нагонних явищ впливає не тільки вітер, але впливають також конфігурація берегової лінії, рельєф дна і гідрологічні умови. Частота і висота нагонів залежить від повторюваності вітру відповідного напрямку. Нагони мають різну тривалість залежно від швидкості та тривалості вітру.

В глибоководних областях збільшення рівню води при нагони відбуваються повільніше, ніж у мілководних. В Пн-З та Пн-С частинах Чорного моря середня швидкість зміни рівня 2–8 см/год, в інших його

районах – 1–2 см/год. Максимальна швидкість приросту рівня досягає 25 см/год [14].

Приріст рівню на морських узбережжях, головним чином, відбувається за рахунок нагонних вітрів, припливів і баричних утворень. Вирівнювання рівня моря відбувається у вигляді донної компенсаційної протитечії, або у вигляді стокової течії, спрямованої уздовж берега, а також у вигляді розривних течій.

Чорне море відноситься до безприлівних морів, коливання рівню в ньому визначаються складовими водного балансу і тектонічними коливаннями земної кори.

Хід рівня моря протягом року залежить від річкового стоку води, атмосферних опадів та випаровування з поверхні моря. Періодичні коливання рівня моря залежать від внутрішньорічної періодичності і повторюваності з року в рік цих факторів. Як правило (джерела вказані в [14]) в жовтні–листопаді спостерігаються середні позначки рівня моря, найменші значення в грудня, після вони починають підвищуватися, досягаючи найвищих значень в червні–липні місяці, після чого починається його спад.

Мілководдя є хорошим захистом берега, воно добре гасить енергію хвиль. Широкому пляж понад 35-40 м нейтралізує абразію. Активне руйнування берегу, найчастіше, відбувається на ділянках узбережжя без пляжів, з крутими обривами. Можна вважати, що: при ширині пляжу більш 40 м при будь-якому его складі буде відбуватися гашення штормів будь-якої бальності; при 20–40м – 6–8 балів; при 10–20 м – 4–6 балів; при 0–10м – 2–4 балів (джерела вказані в [14]).

Хвилі втрачають свою енергію не тільки на широкому пляжі, але й на поверхні з великою шорсткістю (на поверхні схилу з крупним пляжним матеріалом).

Штучні вільні пляжі при достатньої ширині є добрим захистом берега. Але при відсипанні пляжу зазнають шкоду живі організми: гинуть бентосні

угруповання, які є природними біофільтрами здатними очищати прибережні води.

Відповідно до нормативними документами берегозахисні споруди II класу капітальності розраховуються на вплив штормів забезпеченістю 2% (1 раз в 50 років) в режимі, а III – 4% (1 раз в 25 років). Як правило, спостереження за хвилюванням відсутні, і параметри хвилювання розраховують за вітром, в якості розрахункової приймається швидкість вітру забезпеченістю 2% в режимі (1 раз в 50 років) й в ньому береться хвиля 1% в системі [12, 13, 15]. Для споруд III класу капітальності: шторм – 4% в режимі (1 раз в 25 років); хвиля – 5% в системі.

Склад і будова порід.

На берегах, складених дрібнокристалічними магматичними породами, помітні ознаки зміщення берегової лінії проявляються протягом великих проміжків часу. Швидкість відступу таких берегів не перевищує кількох сантиметрів в сторіччя. Вони виділяються до типу берегів, які не змінюються морем.

Береги, які складені осадовими породами (глинами, мергелями, суглинками, пісками або слабозцементованими пісковиками) можуть відступати на кілька метрів на рік. За даними, наведеними в роботі (джерела вказані в [14]), швидкість розмиву зсувних накопичень – 1,8 м/рік, пухких делювіальних суглинків – до 8 м/рік.

Суттєве значення має крутизна кута падіння берега до моря. При пологому куті падіння в бік моря швидкість абразії нижча, ніж при крутому. В цьому випадку хвилі ковзають по поверхні схилу, завдаючи йому незначні руйнування.

Має значення також характер залягання шарів осадових порід. Досить стійкі берега з горизонтальним заляганням шарів [11]. У цьому випадку інтенсивніше руйнування відбувається, коли нижні шари, на які впливають хвилі, більш слабкі, легко розмиті породи, ніж верхні шари.

3.2 Результати розрахунків

Вітер

Методом лінійного аналізу (з вирівнюванням вихідних даних) складено прогноз максимальної річної швидкості вітру повторюваністю 1 раз у 25 років з використанням закону розподілу Вейбулла

$$F_p = exp(-aV_m^{\,b}) \quad \rightarrow \tag{4}$$
$$\rightarrow 1/F_p = exp(aV_m^{\,b}) \rightarrow ln(1/F_p) = aV_m^{\,b} \rightarrow lnln(1/F_p) = lna + blnV_m \rightarrow$$
$$\rightarrow \{Y = lnln(1/F_p);\ X = lnC\} \rightarrow Y = \alpha^* + bX,$$

де F_p – забезпеченість швидкості вітру у режимі;

V_m – швидкість вітру;

α і b – параметри закону Вейбулла.

У табл. 3.1 наведено розрахунок параметрів розподілу масимальних річних вітрів у секторі Пд-Пд-С, Пд та Пд-Пд-З. Отримана залежність має такий вигляд:

$$V_M = [(2{,}828*10^{+12})*ln(1/F)]^{0{,}1045}.$$

На рис. 3.1 показано емпіричний та аналітичний розподіл максимальних річних значень швидкості вітру південнного напрямку. Середньоквадратичне відхилення емпіричних точок від апроксимаційної кривої становить 0,323 м/с або 1,7% у частках від середнього.

Максимальна річна швидкість вітру південних напрямів забезпеченістю 4% (1 раз на 25 років) становить **22,6** м/с.

Таблиця 3.1 – Розрахунок параметрів розподілу максимальних річних швидкостей вітру в секторі Пд-Пд-С, Пд та Пд-Пд-З в районі м. Южне та похибки апроксимації

Год	V_M	$V_M\downarrow$	$X=lnV_M$	№	F	$Y=lnln(1/F)$	V_{Mp}	$(V_M-V_{Mp})^2$
1993	18	24,0	3,178	1	0,04	1,169	22,6	1,9488
1994	18	22,0	3,091	2	0,08	0,927	22,0	0,0015
1995	24	21,0	3,045	3	0,12	0,752	21,6	0,4084
1996	17	21,0	3,045	4	0,16	0,606	21,3	0,0973
1998	18	21,0	3,045	5	0,20	0,476	21,0	0,0006
1999	21	21,0	3,045	6	0,24	0,356	20,8	0,0566
2000	18	21,0	3,045	7	0,28	0,241	20,5	0,2346
2001	21	21,0	3,045	8	0,32	0,131	20,3	0,5192
2003	17	20,0	2,996	9	0,36	0,021	20,0	0,0025
2004	18	19,0	2,944	10	0,40	-0,087	19,8	0,6770
2005	21	19,0	2,944	11	0,44	-0,197	19,6	0,3559
2006	21	19,0	2,944	12	0,48	-0,309	19,4	0,1358
2007	19	19,0	2,944	13	0,52	-0,425	19,1	0,0186
2008	22	18,0	2,890	14	0,56	-0,545	18,9	0,8050
2009	17	18,0	2,890	15	0,60	-0,672	18,6	0,4208
2010	20	18,0	2,890	16	0,64	-0,807	18,4	0,1500
2011	16	18,0	2,890	17	0,68	-0,953	18,1	0,0119
2012	21	18,0	2,890	18	0,72	-1,113	17,8	0,0369
2013	21	17,0	2,833	19	0,76	-1,293	17,5	0,2269
2014	15	17,0	2,833	20	0,80	-1,500	17,1	0,0105
2015	19	17,0	2,833	21	0,84	-1,747	16,7	0,1107
2017	19	17,0	2,833	22	0,88	-2,057	16,1	0,7475
2018	19	16,0	2,773	23	0,92	-2,484	15,4	0,3240
2019	17	15,0	2,708	24	0,96	-3,199	14,3	0,4609
СРЗНАЧ	19,0		2,941			-0,5296	19,0	**0,3234**
σ			0,1119			1,110		**1,7%**
$r_{X;Y}$			0,9648					
		b	**9,570**		1/ ***b***	**0,1045**		
		*a**	-28,671					
		a	**$3{,}536*10^{-13}$**		1/ ***a***	**$2{,}828*10^{+12}$**		

Примітка: У таблиці. 3.1 прийняті такі позначення:
V_M – максимальна річна швидкість вітру південних напрямків (результати спостережень); F – забезпеченість швидкості вітру; V_{Mp} – розрахункове значення максимальної річної швидкості вітру за отриманою залежністю; *СРЗНАЧ* – середнє значення; σ – середньоквадратичне відхилення; $r_{X;Y}$ – коефіцієнт кореляції; a та b – параметри розподілу Вейбулла.

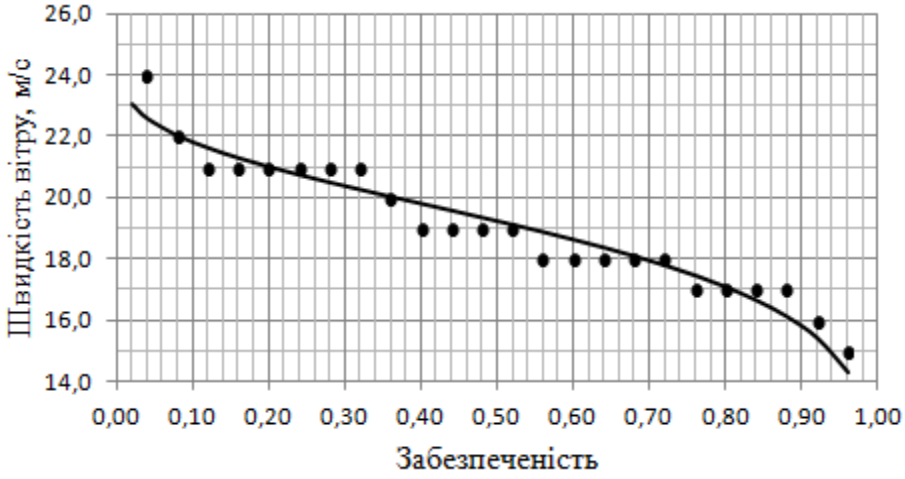


Рисунок 3.1 – Емпіричний та аналітичний розподіл швидкості вітру

Гранулометричний склад ґрунтів

Характеристики пляжного матеріалу району проектування прийняті за результатами досліджень в [1] (табл. 3.2).

Результати проб верхнього шару ґрунтів (піски) за даними геологічних вишукувань в районі проектування (табл. 2.2) були усереднені і зіставлені з нормативними характеристиками дрібних пісків. Встановлено, що осереднені характеристики пісків збігаються з нормативними.

В подальшому для розрахунків прийняті нормативні показники дрібних пісків (табл. 3.2): щільність вологого і сухого ґрунту; щільність частинок; коефіцієнт пористості; кут внутрішнього тертя; питоме зчеплення частинок.

При апроксимації залежності «діаметр частинок - частковий вміст» (рис. 3.2) використана експоненціальна залежність

$$d_p = a * exp(bP),$$

де d_p – діаметр частинок з частковим вмістом P, мм;

P – сумарний частковий вміст частинок,%;

a и b – параметри залежності.

Виконано вирівнювання вихідних даних (табл. 3.3)

$$ln(d_p)=ln(a)+bP \rightarrow \{Y=ln(d_p);\ a^*=ln(a)\} \rightarrow Y=a^*+bP.$$

Таблиця 3.2 – Нормативні і емпіричні фізико-механічні властивості піску [11]

Найменування показника		ІГЕ-1	
		Насипний (намивний) пісок	
Природна вологість, %		W	23,6
Щільність вологого ґрунту, г/см^3		ρ	1,89
Щільність сухого ґрунту, г/см^3		ρ_d	1,53
Щільність часток ґрунту, г/см^3		ρ_s	2,65
Коефіцієнт пористості		e	0,734
Ступінь вологості		Sr	0,84
Гранулометричний склад, %	2,0-10,0		4,3
	1,0-2,0		11,1
	0,50-1,0		13,6
	0,25-0,50		18,4
	0,10-0,25		34,7
	0,05-0,10		10,7
	0,01-0,05		3,7
	0,005-0,01		3,5
Кут внутрішнього тертя, градус		φ	26
Питоме зчеплення, кПа		C	1
Модуль деформації, МПа		E	12
Розрахунковий опір, кПа		Ro	180

Методом найменших квадратів знайдені параметри лінії регресії (табл. 3.3)

$$b=r(P;Y)\sigma(Y)/\sigma(P),$$

$$a^*=Y_{CP}-bP_{CP} \rightarrow a=exp\ (a^*),$$

де $r(P;Y)$ – коефіцієнт кореляції;

$\sigma(Y)$ и $\sigma(P)$ – середньоквадратичне відхилення рядів Y і P;

Y_{CP} и P_{CP} – середні значення рядів Y і P.

Таблиця 3.3 – Розрахунок параметрів лінії регресії

d, мм	*P*, %	*Y=lnd*	d_p, мм	*d*, мм	*P*, %	*Y=lnd*	d_p, мм
10,0	100,0			0,10	17,9	-2,30259	0,07941
2,0	95,7	0,69315	1,57850	0,050	7,3	-2,99573	0,05269
1,0	84,6	0,00000	1,02853	*СРЗНАЧ*	*54,84*	*-1,114*	
0,50	71,0	-0,69315	0,61078	*σ*	*35,90*	*1,394*	
0,25	52,6	-1,38629	0,30126	*r*(*P*;*Y*)	*0,9903*		
b= **0,03844**			*a**= -3,222		*a*= **0,03986**		

Зв'язок щільний (табл. 3.3), коефіцієнт кореляції дорівнює 0,99. Емпірична залежність має наступний вигляд

$$d_P = 0{,}0399 exp(0{,}0384P).$$

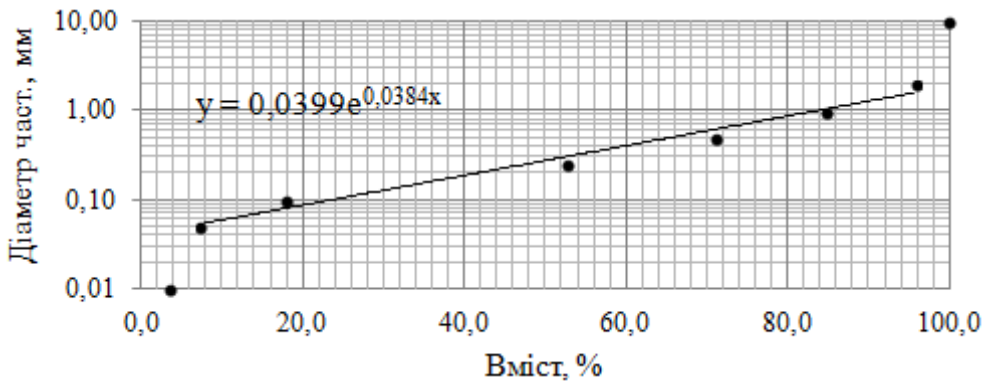


Рис. 3.2 – Гранулометричний склад піску (пляжного матеріалу) за результатами пошукувань

За отриманими залежностями (рис. 3.2) розраховані значення характерних діаметрів частинок:

d_{10}= 0,059 мм; d_{50}= 0,27 мм; d_{60}= 0,40 мм; d_{85}= **1,05 мм**.

Показник неоднорідності ґрунту C_V дорівнює 6,8, що свідчить про його неоднорідність (C_V>3).

Прийнято: пісок дрібний; неоднорідний; щільністю 1,86 кг/дм^3; щільність частинок 2,65 кг/дм^3; кут внутрішнього тертя **26°**.

Хвилювання

Розрахунок висоти і періоду розвинутого вітрового хвилювання в глибоководній зоні (d>0,5λ_d) виконаний за формулами [12, 13]:

$$gh_d/V_w^2 = 0{,}16\{1-[1/(1+0{,}006(gL/V_w^2)^{0.5})]^2\},$$
$$gT_d/V_w = 2\pi*3{,}1(gh_d/V_w^2)^{0{,}625},$$
$$\lambda_d = gT_d^2/(2\pi).$$

де h_d – середня висота хвиль, м;

V_w – швидкість вітру на висоті 2 м над рівнем моря, м/с;

L – довжина розгону, м;

T_d – період хвилювання, с;

λ_d – середня довжина хвиль, м.

Висота, довжина і період несталого вітрового хвилювання розраховуються в залежності від тривалості дії вітру. Ця величина в безрозмірному вигляді виражається залежністю:

$$gt/V_w = 16(gL/V_w^2)^{0{,}785},$$
$$gL/V_w^2 = [(gt/V_w)/16]^{1{,}274},$$

де t – тривалість дії вітру, с.

Висота хвиль визначається за безрозмірними параметрами $(gh_d/V_w^2)_L$ й $(gh_d/V_w^2)_t$, з двох значень приймається мінімальне [12, 13].

Параметри сформованих в глибоководній зоні хвилі, переміщуючись в мілководну зону з глибиною $0{,}5\lambda_d \geq d > d_{cr}$, змінюються. Розраховується ця трансформація за формулою [12, 13]:

$$h_i = k_t * k_r * k_l * k_i * h_d ,$$

де h_i – висота хвиль на розглянутій глибині;

k_t – коефіцієнт трансформації, він визначається методом послідовного приближення за формулами:

$$k_t = \{C_N[1+4\pi/C_N * d/\lambda_d (sh[4\pi/C_N * d/\lambda_d])^{-1}]\}^{-0,5},$$
$$C_N = th(2\pi/C_N * d/\lambda_d);$$

k_r – коефіцієнт рефракції [12];

k_l – коефіцієнт узагальнених втрат [12];

k_i – перехідний коефіцієнт від середньої висоти хвиль в системі до i%.

Глибина, на якої відбувається перше обвалення хвиль, розраховується теж методом послідовного приближення [13] за формулами, що наведені раніше для розрахунку трансформації хвиль, в мілководній зоні.

Глибина ($d_{cr,u}$), на якої відбувається останнє обвалення хвиль, розраховується підбором по залежності:

$$d_{cr,u} = k_u^{n-1} * d_{cr},$$

де k_u – коефіцієнт, залежіть від ухилу дна;

n – число обвалень, включаючи перше.

Розрахунок закінчується коли

$$k_u^{n-2} \geq 0,43 \text{ і } k_u^{n-1} < 0,43.$$

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнта k_u в залежності від ухилу дна i [12]

i	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050
k_u	0,75	0,63	0,56	0,50	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35

Коли ухил дна більше 0,05, приймають – $d_{cr}= d_{cr,u}$.

В зоні глибин $0{,}01<d_{cr}/\lambda_d\leq 0{,}1$ перевищення вершини хвилі над розрахунковим рівнем визначають за формулою:

$$\eta/h_i = 2{,}28–1{,}28(1+0{,}61(d_r/\lambda_d)^{0,5}).$$

У мілководній зоні розрахунок виконується по співвідношенням [13]:

$$gh/V_w^2 = 0{,}1(gd/V_w^2)^{0,8},$$

$$T(d/g)^{-0,5} = 4{,}6,$$

$$gh/V_w^2 = 0{,}16\{1–[1+0{,}006(gL/V_w^2)^{0,5}]^{-2}\}*th[0{,}625(gd/V_w^2)^{0,8}*$$

$$*\{1–[1+0{,}006(gL/V_w^2)^{0,5}]^{-2}\}^{-1}],$$

$$gT_d/V_w = 2\pi*3{,}1(gh_d/V_w^2)^{0,625},$$

$$\lambda_d = gT_d^2/(2\pi).$$

При швидкості вітру 22,6 м/с і розгоні 550-600 км (рис. 3.3) отримано:

на межі глибоководної зони 75 м параметри хвиль дорівнюють – середня висота хвиль h_d = 4,57 м; середній період T_d = 9,87 с; середня довжина хвилі λ_d = 152 м; висота хвиль з забезпеченістю 1% в системі $h_{d1\%}$ = 11,0 м;

на зовнішній межі прибійної зони на глибині першого обвалення хвиль (d_{cr}= 11,4 м) – h_{CP} = 3,65 м; T_{CP} = 9,9 с; λ_{CP} = 96 м; $h_{5\%}$ = 6,57 м; $\eta_{c5\%}$ = 5,19 м; $h_{1\%}$ = 8,03 м; $\eta_{c1\%}$ = 6,34 м; (η_c – перевищення верхівки хвилі над рівнем моря);

на глибині останнього обвалення хвиль, на зовнішній межі приурізовій зони ($d=d_{cr,u}$) – $d_{cr,u}$ = 3,61 м: h_{CP} = 1,46 м; T_{CP}= 9,9 с; λ_{CP} = 57,3 м; $h_{5\%}$ = 2,46 м; $\eta_{c5\%}$= 2,16 м; $h_{1\%}$ = 2,87 м; $\eta_{c1\%}$= 2,52 м;

в приурізовій зоні ($d\leq d_{cr,u}$):

на глибіні 2,75 м – h_{CP} = 1,76 м; T_{CP}= 9,9 с; λ_{CP} = 50,3 м; $h_{5\%}$ = 2,57 м; $\eta_{c5\%}$ = 2,30 м; $h_{1\%}$ = 2,87 м; $\eta_{c1\%}$= 2,57 м;

на глибіні 2,0 м – h_{CP} = 1,17 м; T_{CP}= 9,9 с; λ_{CP} = 43,1 м; $h_{5\%}$ = 1,71 м; $\eta_{c5\%}$ = 1,56 м; $h_{1\%}$ = 1,91 м; $\eta_{c1\%}$= 1,74 м.

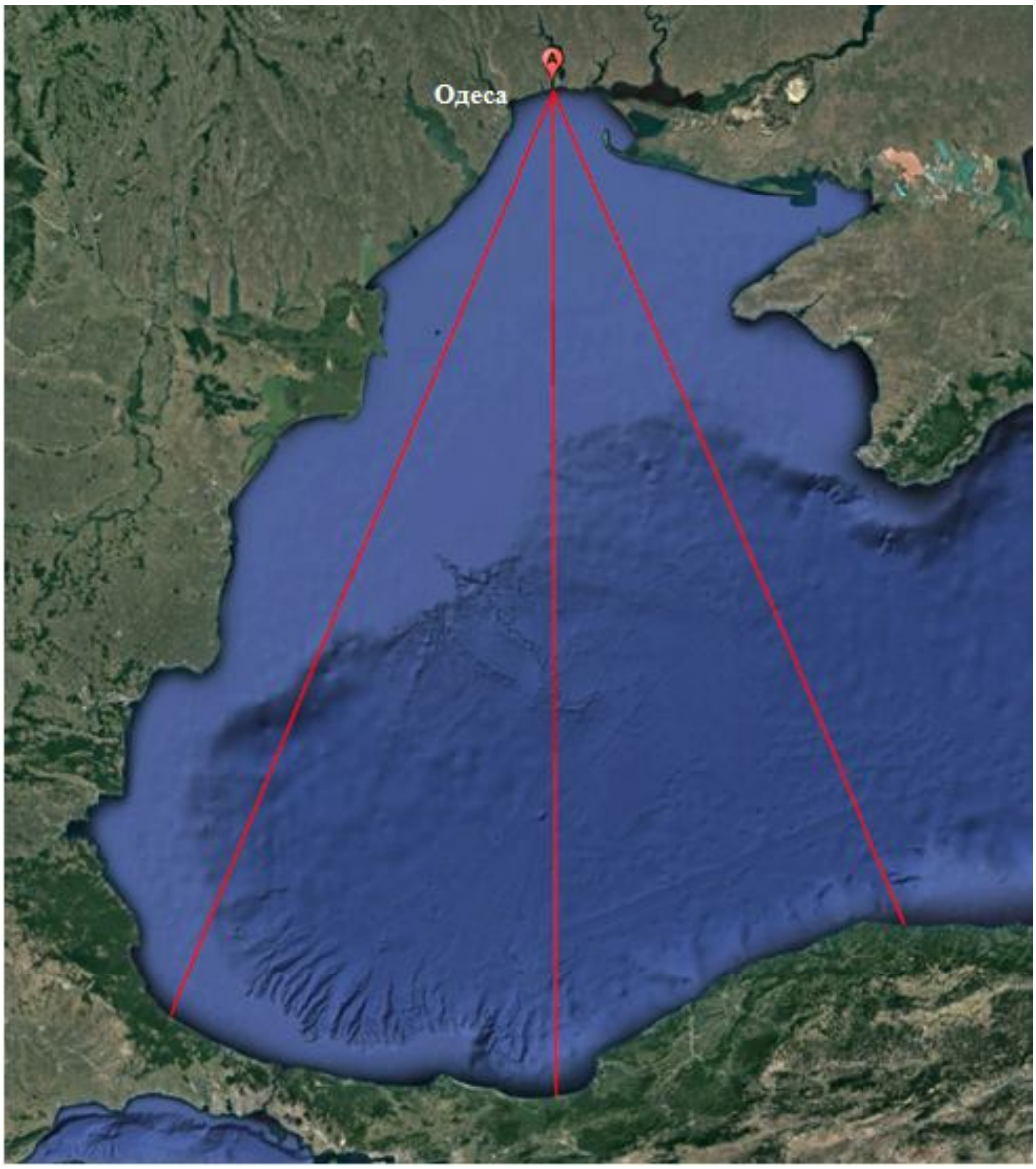


Рис. 3.3 – Сектор впливу хвилювання південного напрямку 180±22,5° (відстань від протилежного берега 540-610 км) протяжність глибоководної зони – 400 км

Максимальна донна швидкість течії в прибійної зоні – 2,04 м/с.

Висота накату хвиль на берег забезпеченістю 1% в системі – 2,22 м; ширина накату хвиль (відстань від урізу води до границі накату хвиль на берег) – 13,1 м.

Вітровий нагін

Під впливом вітру на водному об’єкті можливий підйом рівню води. Цей підйом називається вітровим нагоном, залежить він від швидкості вітру, його тривалості, конфігурації берегової лінії та уклонів дна на ділянки впливу вітру. Висота вітрового нагону розраховується методом послідовного приближення за формулою [13]

$$\eta_w = k_w V_w L \cos\alpha / g / (d+\eta_w),$$

де η_w – висота нагону, м;

k_w – коефіцієнт, що залежить від швидкості вітру;

V_w – швидкість вітру, м/с;

L – довжина розгону вітру, м;

α – кут між поздовжньою віссю водойми і напрямком вітру, град.;

d – глибина, м.

У розглядуваному випадку становить 0,01 м.

Рівень

Режими максимальних і середніх річних рівнів води представлені на рис. 3.3. Для апроксимації використано логнормальний розподіл.

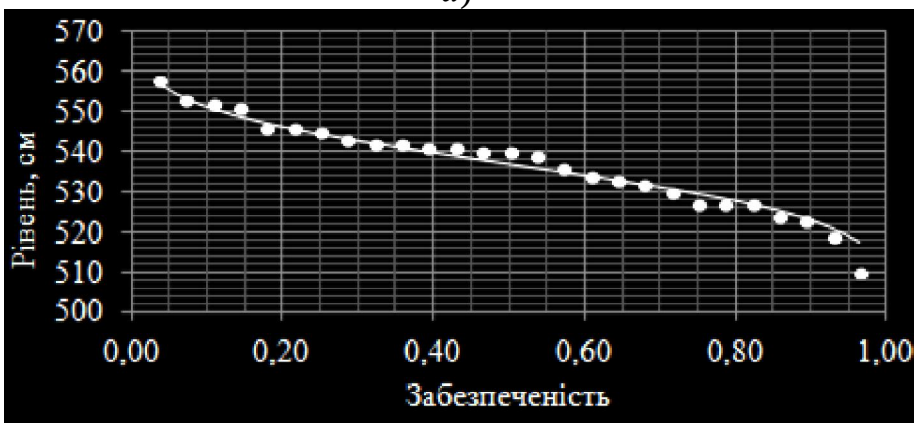
В табл. 3.5 надані результати розрахунку параметрів законів розподілу максимальних і середніх річних рівнів моря в районі м. Южне. Параметри законів розподілу виділені напівжирним шрифтом. Підкреслені середні значення рядів спостережень і розрахункових рядів. В обох випадках результати спостережень і розрахунків співпадають: для максимальних річних середнє значення становить – 537 см, для середніх річних – 490 см.

Розрахунковими прийнято рівні забезпеченістю 50%: максимальні річні – 537 см відносно єдиного «0» рівнемірних постів («+»0,37 м БС); середні річні – 490 см відносно єдиного «0» рівнемірних постів («–»0,10 м БС). Розрахунки виконано за звороттним логнормальним законом (*ЛОГНОРМОБР*) у табличному редакторі *EXCEL*.

Табл. 3.5 – Розрахунок параметрів законів розподілу максимальних і середніх річних рівнів моря

Максимальні річні рівні					Середні річні рівні				
H↓	*lnH*	*n*	*F*	*Hp*	*H*↓	*lnH*	*n*	*F*	*Hp*
558	6,324	1	0,0357	557	503	6,220	1	0,07	501
553	6,315	2	0,0714	553	497	6,208	2	0,1333	498
552	6,314	3	0,1071	551	496	6,206	3	0,2000	496
551	6,312	4	0,1429	549	495	6,204	4	0,2667	494
546	6,303	5	0,1786	547	495	6,204	5	0,3333	493
546	6,303	6	0,2143	546	494	6,203	6	0,4000	492
545	6,301	7	0,2500	544	491	6,197	7	0,4667	491
543	6,297	8	0,2857	543	491	6,196	8	0,5333	489
542	6,295	9	0,3214	542	486	6,186	9	0,6000	488
542	6,295	10	0,3571	541	485	6,184	10	0,6667	487
541	6,293	11	0,3929	540	485	6,184	11	0,7333	486
541	6,293	12	0,4286	539	484	6,182	12	0,8000	484
540	6,292	13	0,4643	538	481	6,176	13	0,8667	482
540	6,292	14	0,5000	537	478	6,169	14	0,9333	480
539	6,290	15	0,5357	536	490	**6,194**	**СРЗНАЧ**		490
536	6,284	16	0,5714	535		**0,01433**	**СТ.ОТКЛ.**		
534	6,280	17	0,6071	534					
533	6,279	18	0,6429	533					
532	6,277	19	0,6786	532					
530	6,273	20	0,7143	531					
527	6,267	21	0,7500	530					
527	6,267	22	0,7857	528					
527	6,267	23	0,8214	527					
524	6,261	24	0,8571	525					
523	6,260	25	0,8929	523					
519	6,252	26	0,9286	521					
510	6,234	27	0,9643	517					
537	**6,286**	**СРЗНАЧ**		537					
	0,02067	**СТ.ОТКЛ.**							

а)



б)

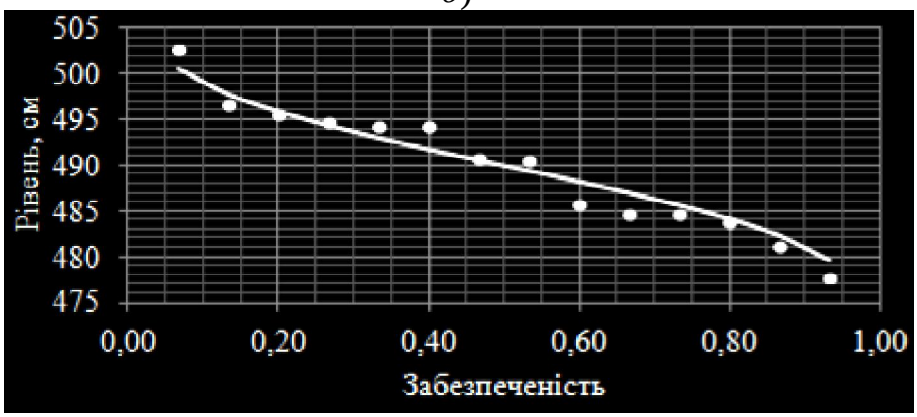


Рис. 3.4 – Емпіричний і теоретичний розподіл максимальних (*а*) і середніх (*б*) річних рівнів моря (см над єдиним «0» рівнемірних постів) в районі м. Южне (єдиний «0» рівнемірних постів має позначку «–»5,00 м БС)

Критичні швидкості розмиву

Швидкості різних форм руху частинок пляжного матеріалу становить: при швидкості течії 0,46 м/с починається рух донних наносів; при швидкості течії 0,56 м/с починається рух грядок; при зростанні швидкості течії до 0,76 м/с і більше відбувається розмив донних відкладів (початок змулювання).

Розрахунок критичних швидкостей розмиву виконаний за формулами (джерела вказані в [14]):

$$v_{доп}=a(R/d_p)^x[n_y\eta P_s/\rho_в]^{0,5},$$

де $v_{доп}$ – швидкість потоку, м/с;

a – коефіцієнт, що дорівнює: для моменту початку руху частинок ґрунту дорівнює 2,06; для моменту початку руху гряд – 3,18; для моменту початку змулювання частинок ґрунту – 5,96;

R – гідравлічний радіус, м;

d_p – діаметр частинок пляжного матеріалу, м, якщо піщани ґрунти однорідні приймають рівним d_{50}, для неоднорідних – d_{85};

x – показник ступеня дорівнює: для моменту початку руху частинок ґрунту дорівнює 0,17; для моменту початку руху гряд – 0 ,14; для моменту початку змулювання частинок ґрунту – 0,10;

n_y – коефіцієнт (прийнятий рівним 1,0);

$\eta=H/H_{от}$ – відносна глибина;

$H_{от}$ – глибина потоку на схилі, м, для дна $H_{от}=H$;

$$P_s= g\rho_1 d_p\{f^2-(1/m_2)+[C_p/(g\rho_1 d_p)][2f+C_p/(g\rho_1 d_p)]\}^{0,5} -$$

показник міцності ґрунту, Па;

m_2 – укіс;

$$P_s= g\rho_1 d_{50} f+C_p -$$

показник, для ґрунту дна дорівнює 0,739, Па;

$$\rho_1=(\rho_s-\rho_в)(1-n_s) -$$

щільність ґрунту у воді (прийнято 561), кг/м^3;

ρ_s – щільність частинок ґрунту (прийнята 2660), кг/м^3;

$\rho_в$ – щільність води, кг/м^3;

n_s – пористість ґрунту (прийнята рівною 0,662);

d_{50} – ефективний діаметр частинок, м, (прийнято рівним – 0,00027);

f – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту в воді (прийнятий рівним – 0,577);

C_p=0,0032/$(d_{50})^{0,5}$ – зчеплення частинок ґрунту при розриві в воді (для ґрунту піщаного пляжу дорівнює 0,109), Па.

Профіль динамічної рівноваги берегового схилу

При фронтальному підході хвиль до берега частинки ґрунту на береговому схилі, який знаходиться під впливом хвиль, переміщаються перпендикулярно урізу води. Тривала дія хвиль на підводну і надводну частини берегового схилу утворює профіль відносної динамічної рівноваги, при якому переміщення частинок на поверхні профілю не призводить до зміни його абрису.

Ухил поверхні в різних точках профілю виробляється в залежності від гранулометричного складу ґрунтів і співвідношення параметрів вітрового хвилювання з глибиною. Це співвідношення характеризується глибиною першого обвалення хвиль ($d_{cr1\%}$).

Від урізу води до глибини першого обвалення хвиль профіль описується наступними залежностями (джерела вказані в [14]):

$$d=AX^{2/3},$$
$$A=2{,}25(W_s^2/g)^{1/3},$$

де d – глибина, м;

A – безрозмірний парамтр;

X – відстань від берега (урізу) до розглянутої точці, м;

W_s – швидкість осідання частинок ґрунту у воді, см/с.

Гідравлічна крупність (швидкість осідання частинок ґрунту у воді) визначають для частинок з медіанним розміром d_{50} (з характерним діаметром).

Протяжність зони до глибини першого обвалення хвиль X_C знаходиться за формулою (зворотна формула розрахунку ПВДР):

$$X_C=(d_{cr}/A)^{3/2}.$$

При $X>X_C$ ПВДР розраховується за формулами

$$d=d_{cr1\%}+exp[a(X-X_C)]-1;$$
$$a=2A/(3X^{1/3}).$$

Середній схил $i_П$ надводної частини берегового схилу визначається в залежності від d_{50} за табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Залежність середнього ухилу надводної частини берегового схилу від характерного діаметра частинок (джерела вказані в [14])

d_{50}	$i_П$	d_{50}	$i_П$
0,2-0,3	0,03	0,5-0,6	0,09
0,3-0,4	0,06	0,6-0,8	0,11
0,4-0,5	0,07	0,8-2,0	0,12

Таблиця 3.7 – Профіль відносної динамічної рівноваги (розмірність відстані і позначок, м)

ПВДР		ПВДР		ПВДР		ПВДР	
Відстань	Позначка	Відстань	Позначка	Відстань	Позначка	Відстань	Позначка
-40	1,2	5,0	-0,29	80	-1,84	400	-5,39
-30	0,90	10	-0,46	100	-2,14	500	-6,25
-25	0,75	20	-0,73	120	-2,41	600	-7,06
-20	0,60	30	-0,96	140	-2,67	700	-7,82
-15	0,45	35	-1,06	160	-2,92	800	-8,55
-10	0,30	40	-1,16	180	-3,16	900	-9,25
-5,0	0,15	50	-1,35	200	-3,39	1000	-9,92
0,0	**0,00**	60	-1,52	300	-4,45	1200	-11,20

В табл. 2.2 і 3.7 наведені дані для побудови профілів берегового схилу і динамічної рівноваги для трьох розрізів: *A-A*; *C-C* і *D-D* . Профіль берегового схилу на розрізі *B-B* відрізняється незначно від *A-A*, тому далі аналіз можливих змін абрису берегового схилу виконується тільки по трьох розрізах.

Профіль динамічної рівноваги зміщений відносно урізу берега так, щоб площі фігур, обмежені лініями профілів, праворуч і ліворуч від точки їх перетину були приблизно рівні. Ці площі показують обсяг розмиву і відкладення ґрунтів при формуванні профілю динамічної рівноваги.

ПВДР (табл. 3.6) розрахований за формулами (джерела надано в [14]) при наступних умовах: глибина першого обвалення хвиль – 11,4 м; характерний діаметр частинок піску (d_{50}) – 0,27 мм; гідравлічна крупність частинок – 0,029 см/с; параметр A = 0,099; відстань від урізу води (тут і далі по тексту мається на увазі уріз води на відмітці 0,0 м БС) до глибини першого обвалення хвиль – 1230 м; середній ухил надводної частини берегового схилу – 0,03.

3.3 Аналіз результатів досліджень

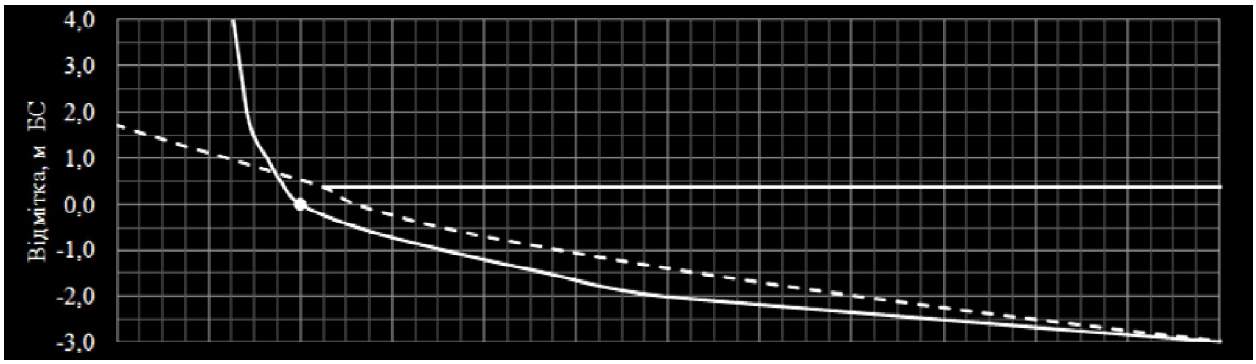
При хвилюванні південного напрямку рідкісної повторюваності в районі розглянутого пляжу придонна швидкість течії набагато більше критичних швидкостей руху донних відкладів, в результаті чого формується ПВДР, зовнішня межа якого співпадає з глибиною 11,4 м, відстань від урізу води до цієї межі – приблизно 1200 м. Межа між приурізовою і прибійною зонами ПВДР у даному випадку співпадає з глибиною 3,6 м, знаходиться вона на відстані 220 м від урізу води. При формуванні ПВДР пляжний матеріал може переміщуватися з берега в приурізову зону і далі в прибійну, і навпаки з прибійної зони в приурізову в залежності від стояння рівню моря. Нажаль вимірювання глибин при інженерно-геологічних дослідженнях виконано до глибини 3,0 м на відстані до 80 м від урізу води, цього дуже

мало для порівнянні з ПВДР. Тому, прогнозні характеристики стану пляжу мають орієнтовний характер.

На рис. 3.4 – 3.9 побудовано профілі берегового схилу і ПВДР в точках *A*, *C* і *D* (рис. 2.1) досліджуваного пляжу при високому(«+»0,37 м БС) і середньому («–»0,10 м БС) стоянні рівня моря (відповідно вимогам [12, 15]). На цих рисунках маркером коло позначено розташування урізу води. В граничних точках пляжу *A* і *B* профілі берегового схилу ідентичні, тому на рис. 3.5 показано тільки профіль в точці *A*.

На рисунках ПВДР зміщений відносно урізу берега так, щоб площі фігур, обмежені лініями профілів, праворуч і ліворуч від точки їх перетину були приблизно рівні. Ці площі показують обсяг розмиву і відкладення ґрунтів при формуванні ПВДР.

а)



б)

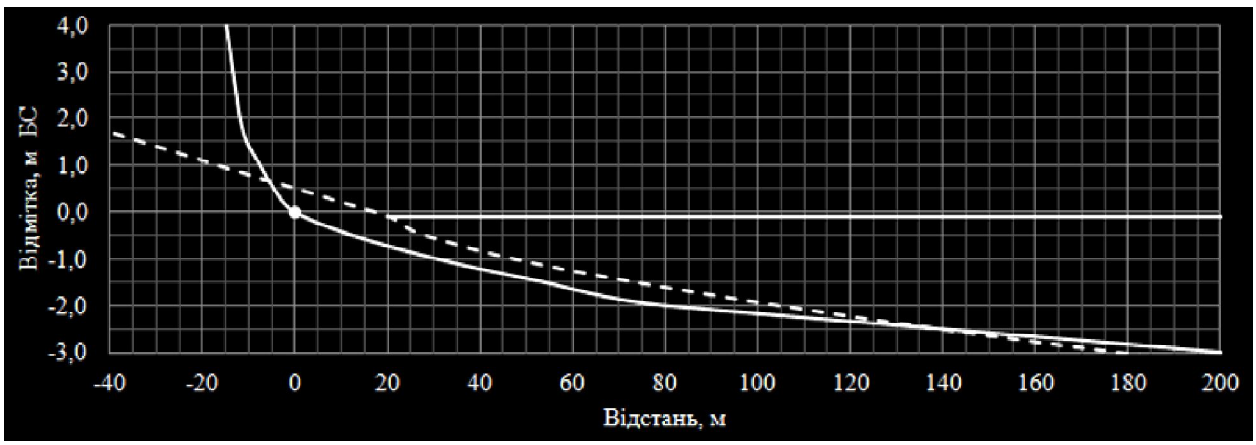


Рис. 3.5 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці *A* при стоянні рівню на відмітки «+»0,37 м БС (*а*) і «–»0,10 м БС (б)

В точках *A* і *B* розглянутої ділянки узбережжя при штормах південного напрямку рідкісної повторюваності буде відбуватися руйнування корінного берега. ПВДР буде формуватися за рахунок переміщення руйнованого матеріалу в приурізову зону з наступом урізу води в бік моря: при високому стоянні рівня (рис. 3.4*а*) – на відстань до 10 м; при середньому (рис. 3.4*б*) – до 20 м.

В точці *C* профіль надводного схилу має менший ухил, корінний берег знаходиться далі від урізу води (рис. 3.6). При формуванні ПВДР можливе руйнування корінного берега і кумуляція руйнованого матеріалу в приурізовій зоні з наступом урізу води в бік моря: при високому стоянні рівня моря (рис. 3.6*а*) – до 5-10 м; при середньому – до 20 м (рис. 3.6*б*).

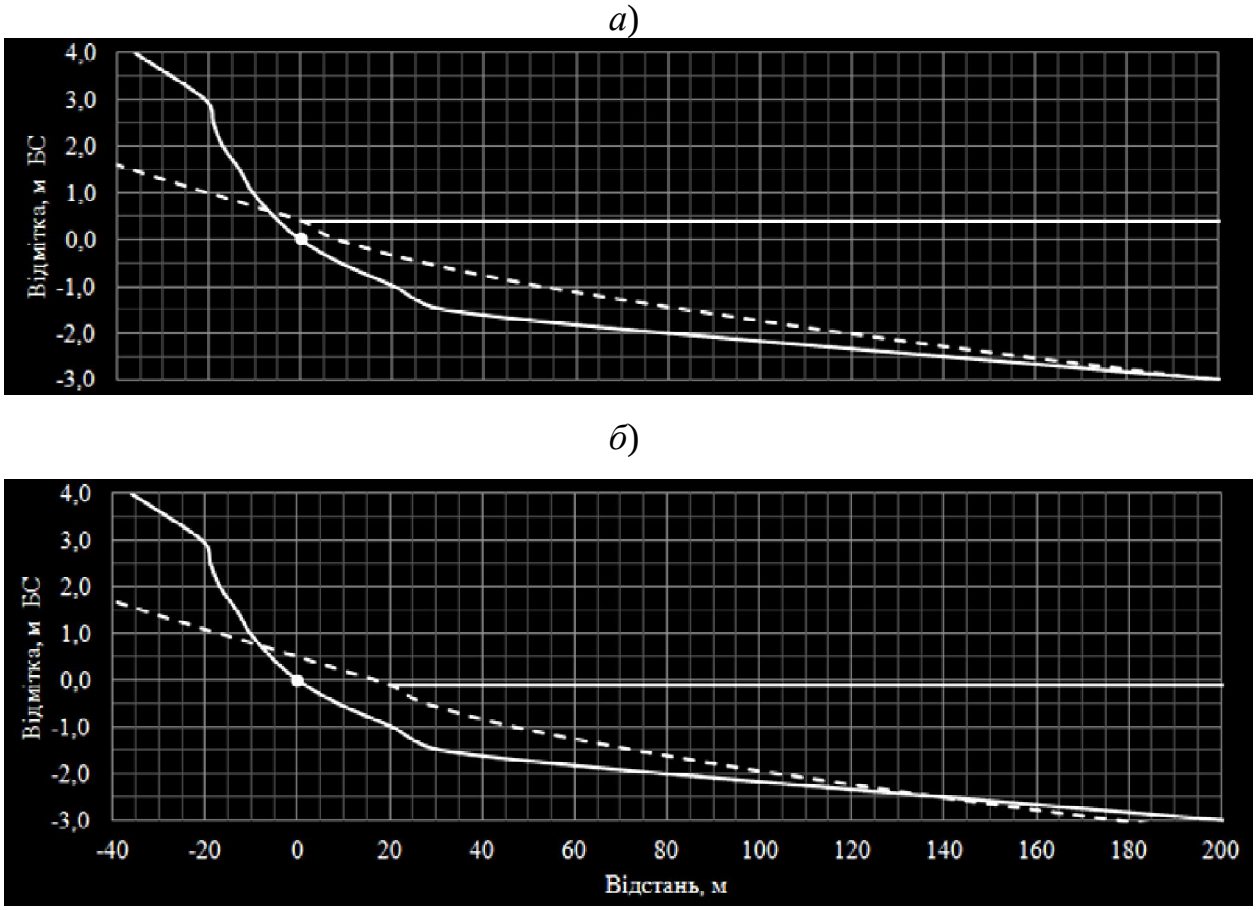
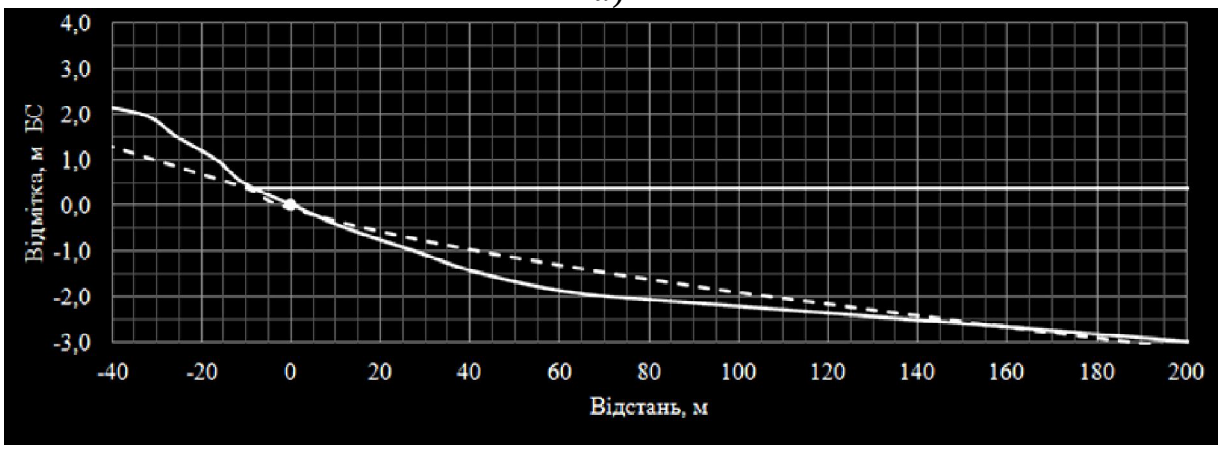


Рис. 3.6 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці *C* при стоянні рівню на відмітки: *а* – «+»0,37 м БС; б – «–»0,10 м БС

В точці *D* профіль надводної частини берегового схилу пологий (рис. 3.7), хвилювання не досягає корінного берега. ПВДР формується за рахунок переміщення пляжного матеріалу з берега в приурізову зону. При високому стоянні рівня моря планове розташування урізу води не змінюється (рис. 3.7*а*). При середньому – можливе зміщення в бік моря на відстань до 15 м (рис. 3.7*б*).

а)



б)

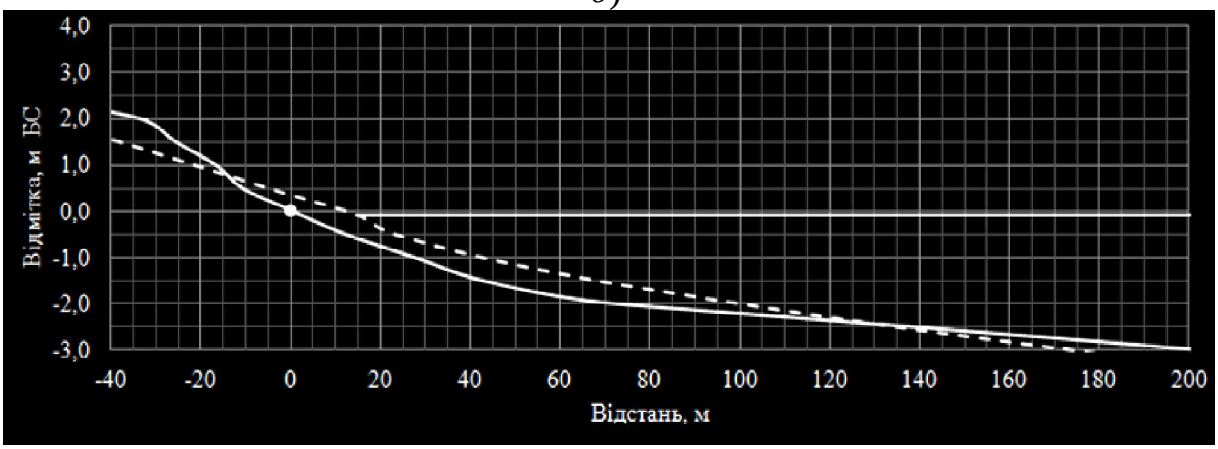


Рис. 3.7 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці *D* при стоянні рівню на відмітки: *а* – «+»0,37 м БС; б – «–»0,10 м БС

Руйнування корінного берега є неприйнятною подією, тому необхідно вжити заходів щодо його захисту. Зведення тільки підпірної стінки вздовж корінного берега захистить його від розмиву, але при формуванні ПВДР пляж може зникнути была точок *A* і *B* за рахунок переміщення його матеріалу на підводну частину берегового схилу (рис. 9).

Задля забезпечення стійкості пляжу біля точок *A* і *B* можна рекомендувати підпірну стінку з відсипкою пляжного матеріалу до відмітки верха «+»1,0 м БС в бік моря на відстань до 40 м від стінки (рис. 10 *а* і *б*).

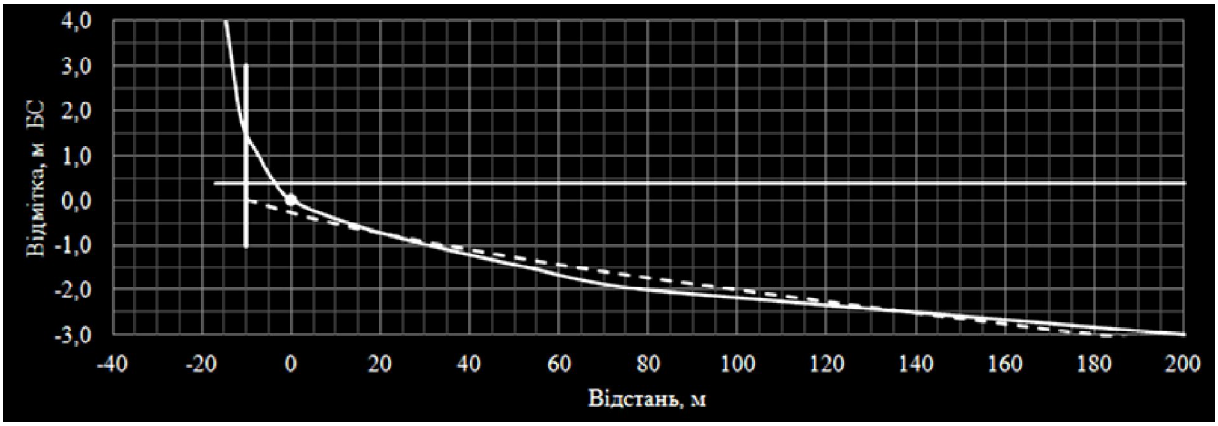
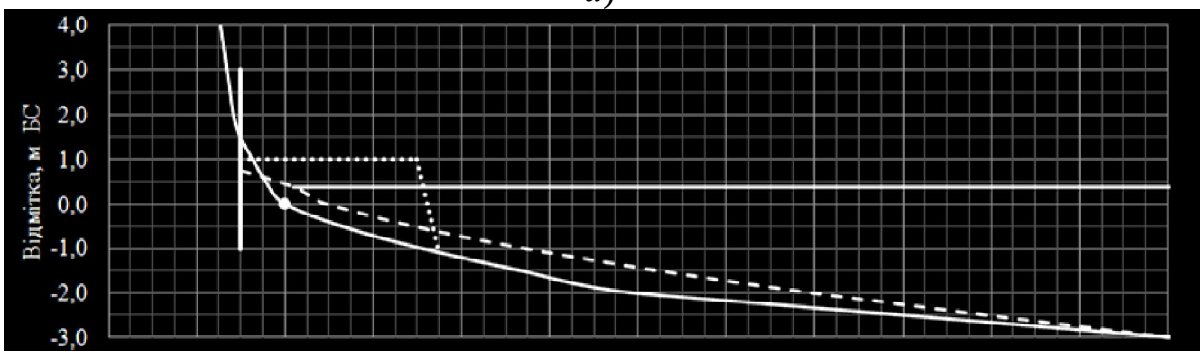


Рис. 3.8 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці *A* з підпірною стінкою (висота стінки задана умовно) при стоянні рівню моря на відмітки «+»0,37 м БС

а)



б)

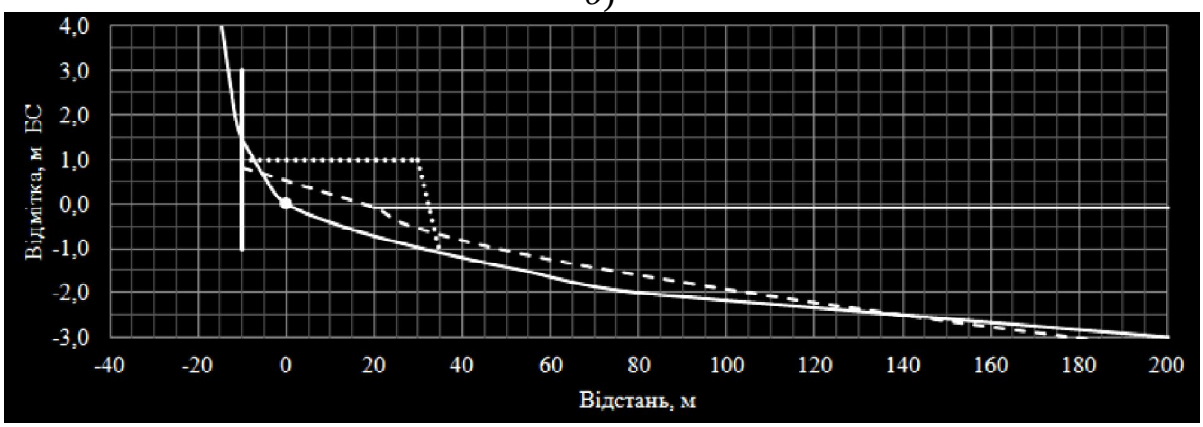
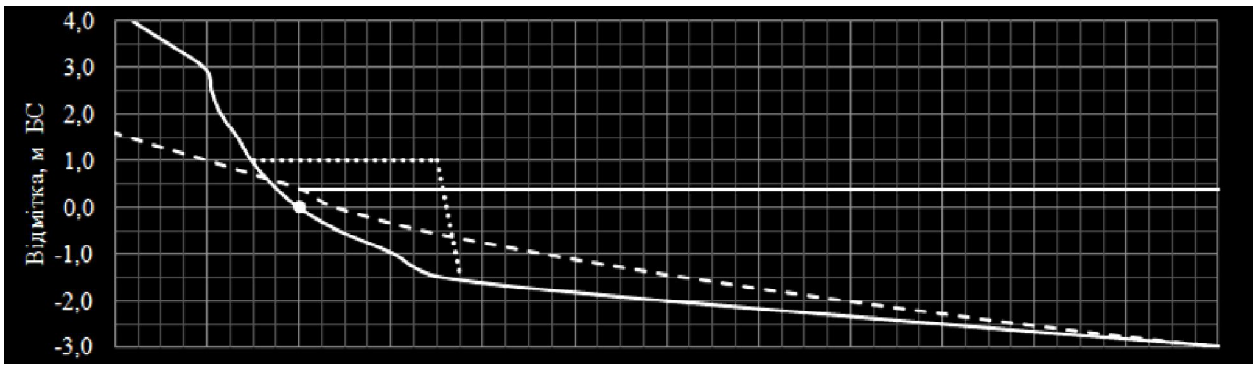


Рис. 3.9 – Формування ПВДР при захисті крайніх ділянок пляжу: *а* – стояння рівню моря на відмітки «+»0,37 м БС; б – «–»0,10 м БС

Для ділянки пляжу, де корінний берег знаходиться на відстані більш 20 м (точки *C* і *D* рис. 2.1), можна рекомендувати тільки відсипку з відміткою верха «+»1,0 м БС на відстань від урізу води: в бік моря – 30 м; в бік берега – до 20 м (рис. 3.9 і 3.10).

а)



б)

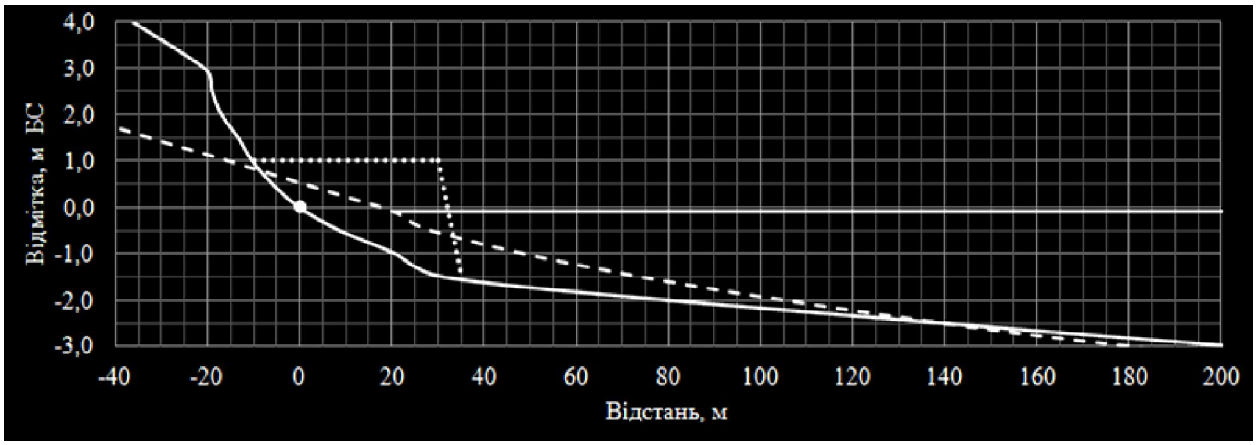


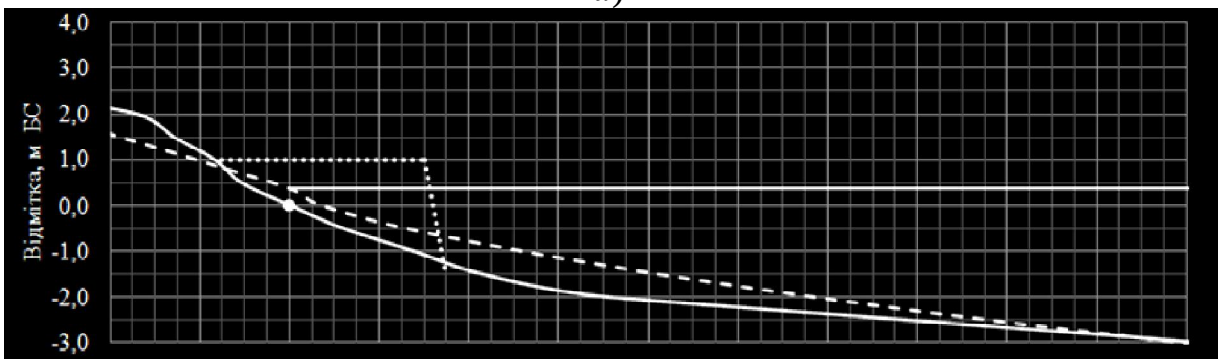
Рис. 3.10 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці *C* при стоянні рівню на відмітки: *а* – «+»0,37 м БС; б – «–»0,10 м БС

При середньому стоянні рівня при формуванні ПВДР уріз води буде переміщуватися в бік моря на відстань до 20 м, що забезпечить захист корінного берега (рис. 3.9 *а* і 3.10*а*). При високому стоянні рівня (рис. 3.9 *б* і 3.10*б*) захисна полоса буде зникати, тому необхідне епізодичне підсипання пляжного матеріалу.

Варіантом активного методу захисту може бути зведення на пляжі уривчастого хвилелому на відстані 50-60 м від берега або проникних бун.

Такий захист не буде перешкоджати вздовжбереговий транспорт піску. Уривчастий хвилелом або буни будуть сприяти накопиченню піску на пляжі. При цьому після сильних штормів південного напрямку при високому стоянні рівня моря можливо будуть необхідні епізодичні досипки піску на пляж.

а)



б)

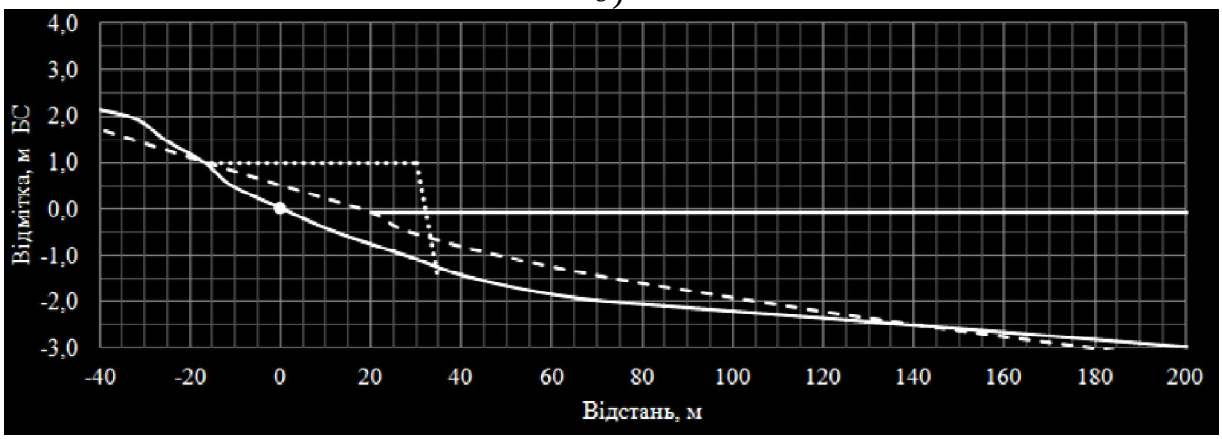


Рис. 3.11 – Формування ПВДР при захисті пляжу в районі точок *D* при стоянні рівню на відмітки: *а* – «+»0,37 м БС; б – «–»0,10 м БС

Таблиця 3.9 – Розрахунок об’єму першого відсипання

Відрізок	*A*	*C*	*D*	*B*
Довжина, м	50	280	320	50
Одиничний об’єм, $м^3/м$	52,5	63,8	62,5	52,5
Об’єм відрізку, $м^3$	2625	17864	20000	2625
Загальний об’єм, $м^3$	43114			

ВИСНОВКИ

1. Розглянута ділянка – пляж м. Южне довжиною приблизно 700 м на узбережжі Чорного моря. Хвиленебезпечним є південний напрямок в секторі 180±22,5°. Відстань від пляжу до протилежного берега (розгін хвиль) дорівнює 540-610 км. Границя між мілководною і глибоководною зонами знаходиться на відстані приблизно 200 км з глибиною 75 м.

2. При вітрах південного напрямку повторюваністю один раз в 25 років на підході до мілководної зони глибиною 50-75 м формується розвинене хвилювання з граничними параметрами хвиль, яке трансформуючись у мілководній зоні суттєво впливає на узбережжя.

3. При розрахунковому хвилюванні формується профіль відносної динамічної рівноваги протяжністю 1200 м з глибиною на цієї відстані 11,2 м. Від урізу води межа між приурізовою і прибійною зонами знаходиться на відстані 220 м з глибиною 3,6 м.

4. Незалежно від стояння рівню води розрахунковий шторм руйнує корінний берег на крайніх ділянках пляжу. При високому стоянні рівня моря хвилювання переміщає руйнований матеріал з пляжним матеріалом в приурізову зону, при цьому уріз води на позначки 0,0 м БС не буде змінювати своє планове розташування. Кількість пляжного матеріалу у надводній частині берегового схилу може суттєво зменшуватися.

При середньому стоянні рівня моря змив руйнованого і пляжного матеріалу супроводжується наступом уріза водив бік моря на відстань до 20 м, але при цьому теж спостерігається зменшення пляжного матеріалу на надводної частині берегового схилу.

5. На ділянках пляжу, де відстань корінного берега від урізу води складає 10-15 м, для запобігання його розмиву, необхідне зведення підпірної стінки з відсипанням шару піску з позначкою верха «+»1,0 м БС і шириною 40-45 м від стінки (з межею на відстані 30 м від урізу води).

6. На ділянках пляжу де корінний берег не знаходиться під впливом

хвилювання, для забезпечення рекреаційної цінності пляжу можна рекомендувати тільки відсипку шару піску з позначкою верха «+»1,0 м БС від урізу води в бік моря на відстань 30 м, а в бік берегу – до відповідної горизонталі (до 20 м). Загальний об'єм первинної відсипки буде дорівнювати приблизно 43 тис.м^3 піску.

7. Варіантом активного методу захисту може бути зведення на пляжі уривчастого хвилелому на відстані від берега 50-60 м або проникних бун. Такий захист не буде перешкоджати вздовжбереговий транспорт піску. Уривчастий хвилелом або буни будуть сприяти накопиченню піску на пляжі. При цьому після сильних штормів південного напрямку при високому стоянні рівня моря можливо будуть необхідні епізодичні досипки піску на пляж.

8. Подальші дослідження будуть спрямовані на кількісний аналіз сценарію переміщення піску уздовж пляжу при косому підході хвиль.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Давидов О. В., Сімченко С. В. Методичні аспекти дослідження берегової зони у межах системи типу «Крилатий мис» Кінбурнська-Покровська-Довгий / Регіон-2019: Стратегія оптимального розвитку: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 16-17 жовтня 2019 р.). Харків: ХНУ ім. ВН Каразіна. 2019. С. 55-58.
URL:http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/10039

2. Давидов О. В. и др. Моніторинг морфодинаміки берегового бар'єру «Крилатий мис» Кінбурнська-Покровська-Довгий (за 2019–2021 роки) //Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Географічні науки». 2021. №. 15. С. 39-50.
URL:https://gj.journal.kspu.edu/index.php/gj/article/view/327

3. Выхованец Г.В., Муркалов А.Б., Стоян А.А. Динамическая устойчивость размеров песчаных пляжей. Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки. 2014. Т. 19. Вип. 1. с. 53-68.
URL:https://elibrary.ru/item.asp?id=23918651

4. Выхованец Г.В., Панкратенкова Д.О. Влияние антропогенного фактора на современное состояние аккумулятивных форм рельефа Северо-Западной части Черного моря. Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки. 2018. Т. 23. Вип. 1. с. 11-31. URL:
https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://vdocuments.mx/google-reader?url%3D0134e884efae48a53203ad479588edc58d86e3d58408f6a8fb935a53a61c370b7badadefacf467661908920afd9b8c6cf089ceb4a31db14aa4aaffe008fd6fc3OIJ/GIaMoGEfa0onrl7wucaIt84ta/ClRzs1YPkJOwZzYJIKX3QGg+6xrJ4LRHPj.

5. Шуйский Ю.Д. Особенности природных комплексов в береговой зоне морей / Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки. 2015. Т. 20, Вип. 1. С. 97-113.
URL:http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_geo_2015_20_1_10

6. Шуйский Ю. Д. Портовые сооружения и их влияние на береговую зону

Черного моря // Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки. 2019. №. 24, Вип. 1. С. 53-82.

7. Козлова Т. В. и др. Морфоструктурные особенности абразионно-оползневого бенча Одесского побережья Черного моря //Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки. 2017. №. 22, Вип. 2. С. 159-171.
URL: http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/12547

8. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря: довідковий посібник / [відповід. ред. І. Д. Лоєва], І. Г. Орлова, М. Ю. Павленко [та ін.]. К. : КНТ, 2008. 616 с.

9. Северо-западная часть Черного моря: биология и екология: монография / Под ред. Ю. П. Зайцева, Б. Г. Александрова, Г. Г. Миничевой. Киев: Наукова думка, 2006. 701 с.

10. Горун В.В. Оптимізація дампінгу грунтів на української частині шельфу Чорного моря. / Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата геогр. наук. / Одеса, 2015. 282 с. URL:
http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1877/1/GorunValeriya_Optimizaciya%20dampinga%20gruntov_DIS_K_2015.pdf

11. Технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування на об’єкті: «Розробка схеми захисту пляжної зони м.Южного Одеської області». 1509/1457. Виконавець: ТОВ «Інженерний центр «Геобест». Замовник: ТОВ «Альфа Форамен», 2020. 44 с.

12. СНиП 2.06.04-82*. Навантаження і впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові і від суден).
URL:https://files.stroyinf.ru/Data1/1/1977/index.htm

13. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчёты. Под ред. Лаппо Д.Д. Ленинград: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1990. 432 с. URL:https://www.twirpx.com/file/1461764/.

14. Юрасов С.М., Нагаєва С.П. Прогноз зміни стану пляжу міста Миколаїв

під впливом природних чинників. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2020. Вип. 34 с. 68-78. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-07

15. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. URL:https://meganorm.ru/Index2/1/4294854/4294854725.htm

16. Паспорт Одеської області за 2022 рік. URL:https://oda.od.gov.ua/wp-content/uploads/2023/08/pasport-odeskoyi-oblasti-za-2022-rik.pdf

17. Повідомлення Державної екологічної інспекції Південно-Західного округу.
URL:https://www.facebook.com/sw.dei/posts/pfbid0rCdpXJGxjMjt7AeYLea6xrE7bGQUod3Q8Veg8R4yC6sDRW3QbdkQ5udjqkh1rt1l

ДОДАТОК А

Перелік публікацій за темою кваліфікаційної роботи магістра

1. Юрасов С.М., Нагаєва С.П., Грабко Н.В., Воробйов О.О. Прогноз змін стану пляжу міста Южне під впливом природних чинників. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. № 40. 2023. С. 6-19. URL: https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/22743/20888