

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-01>

УДК 504.4.54

С. М. ЮРАСОВ¹, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

С. П. НАГАСВА¹, канд. геогр. наук, доц.,

доцент кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: angelsvet715@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6365-7419>

Н. В. ГРАБКО¹,

ст. викладач кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: grabkonatalyavikt@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1412-5683>

О. О. ВОРОБЙОВ¹,

магістр кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: kzkcnskvvkwibgj@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-8035-5586>

¹Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, Україна, 65016

ПРОГНОЗ ЗМІН СТАНУ ПЛЯЖУ МІСТА ЮЖНЕ ПІД ВПЛИВОМ ПРИРОДНИХ ЧИННИКІВ

Мета. Прогноз змін стану пляжу міста Южне, надання загальних пропозицій його захисту від деградації.

Методи. Математична статистика, лінійний аналіз та математичне моделювання, порівняльний аналіз, картографічні і графоаналітичний.

Результати. Пляж м. Южне знаходиться на узбережжі Чорного моря в Одеській області довжиною майже 700 м. Хвиленебезпечним є південний напрямок в секторі $180 \pm 22,5^\circ$. Відстань від пляжу до протилежного берега (розгін хвиль) дорівнює 540-610 км. Границя між мілководною і глибоководною зонами знаходиться на відстані приблизно 200 км від берега з глибиною 75 м.

При вітрах південного напрямку повторюваність 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 протяжністю 1200 м з глибиною на цій відстані 11,2 м. Від урізу води границя між приурізною і прибіжною зонами знаходиться на відстані 220 м з глибиною 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 у приурізную зону, при цьому уріз води на відмітці 0,0 м БС не змінює своє планове розташування. Кількість пляжного матеріалу на надводній 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 надводній частині берегового схилу.

Висновки. Без застосування спеціальних заходів охорони пляж міста Южне в майбутньому деградуватиме. На ділянках пляжу для запобігання його розмиву, необхідне зведення підпірної стінки з відсіпанням шару. Варіантом активного методу захисту може бути зведення на пляжі проникних бун або уриччастого хвилелому на відстані 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.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: розрахункова швидкість вітру, режим хвилювання, параметри хвилювання, гранулометричний склад, профіль динамічної рівноваги

Як цитувати: 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*. 2023. Вип. 40. С. 6 - 19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-01>

© Юрасов С. М., Нагаєва С. П., Грабко Н. В., Воробйов О. О., 2023



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

In cites: Yurasov, S. M., Nagayeva, S. P., Grabko, N. V., & Vorobyov, O. O. (2023). Forecast of changes in the beach condition of the Yuzhne city under the influence natural factors. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (40), 6-19. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2023-40-01> (in Ukrainian)

Вступ

Під впливом природних і антропогенних чинників в приурізівній зоні водних об'єктів відбуваються зміни планових обрисів лінії берега і висотних відміток берегового схилу. Часто ці зміни носять негативний характер і можуть вплинути на рекреаційну цінність узбережжя. Тому дослідження чинників деградації і прогноз стану рекреаційних ділянок узбережжя для запобігання їх негативних змін є актуальним.

Стан морських і річкових пляжів у майбутньому визначається: режимами вітрового хвилювання, течії (пов'язаного з ними вздовжберегового транспорту наносів) і рівня води; контурами берегової смуги, підводної і надводної частин берегового схилу; висотними відмітками цього схилу і властивостями гірських порід, що його складають. Від цих чинників залежить чи буде деградувати пляж, чи буде стабільною берегова смуга, чи буде відбуватися накопичення пляжного матеріалу.

Для морського узбережжя переважаючими чинниками швидкості абразії є хвилювання, викликані ним течії та властивості порід. Шторми рідкісної повторюваності, які мають велику енергію, обрушують її на берег. Якщо берег складений осадовими породами, він легко руйнується, швидкість абразії у цьому випадку найбільша, за один шторм об'єми руйнування можуть бути дуже великими. І, навпаки, якщо берег складено кристалічними породами – помітні зміни абриса берега відбуваються протягом десятків років.

Стояння рівню води й абрис надводної частини берегового схилу зумовлюють – як далеко буде розповсюджуватися вплив хвилювання на берегову смугу. Чим вище рівень, менше ухил і нижче його висотні відмітки, тим далі поширюється вплив хвиль. При достатньо широкому пляжі й низькому рівні хвилі можуть не досягати корінного берега. Але, при високому стоянні рівня – хвилі можуть досягати корінного берегу та руйнувати його. Крім того, при різному стоянні рівню води і при крутому ухилі берегового схилу може відбуватися його розмив (зниження відміток у смугі впливу хвиль) з відступом або з наступом урізу води в залежності від абриса підводної частини цього схилу.

Ухил dna й висотні відмітки підводної частини берегового схилу визначають: скільки

енергії загубить хвилювання при обваленні (у прирйізівній зоні) на підході до урізу води, скільки відбудеться цих обвалень, скільки енергії залишиться у хвилі при їх впливі на берегову смугу. При фронтальному підході хвиль і крутому ухилі втрата енергії хвилювання на підході до берега мала, відбувається розмив пляжного матеріалу в приурізівній смугі й накопичення його на деякій глибині. В результаті чого формується профіль відносної динамічної рівноваги (ПВДР). Тобто, такий профіль берегового схилу, при якому переміщення наносів на схилі не призводить до зміни його абрису.

Якщо хвилювання підходить під гострим кутом до берега (приблизно 45°), в приурізівній смугі відбувається вздовжбереговий транспорт наносів. Він може спостерігатися не тільки при сильних штормах, а й при рядових з повторюваністю декілька разів на рік. При зміні кута підходу фронту хвилювання на 90° пляжний матеріал починає переноситися в протилежному напрямку.

Ділянка, що розглядається (рис. 1), розташована в межах пляжної зони м. Южне, яке знаходиться на відстані приблизно 35 км в схід-північно-східному напрямку від міста Одеса (рис. 2). Переважаючим чинником перетворення берегової смуги є фронтальне хвилювання південного напрямку в секторі $180 \pm 22,5^\circ$ з розгоном хвиль 540-610 км (рис. 2).

Виникає питання – які перетворення можуть відбуватися на пляжі в майбутньому, як може змінитися обрис берегового схилу під впливом сильних штормів південного напрямку?

Огляд сучасних джерел [1–11] показав, що в технічній і нормативній літературі містяться: загальні уявлення про абразію берегів і про процеси, що обумовлюють її; аналіз сучасного і ретроспективного стану берегів; методики моделювання впливу природних чинників на береговий схил і оцінки стану цього схилу в майбутньому. Але, для розглянутого об'єкта не знайдено розробок, присвячених прогнозуванню змін надводної та підводної частин профілю його берегового схилу.

Об'єкт дослідження – пляжна смуга узбережжя під впливом хвилювання. Предмет дослідження – вплив хвилювання на стан пляжу м. Южне. Мета – прогноз змін



Рис. 1 – Розташування пляжу м. Южне (довжина 700 м)
Fig. 1 – Location of the beach in Yuzhne (length 700 m)

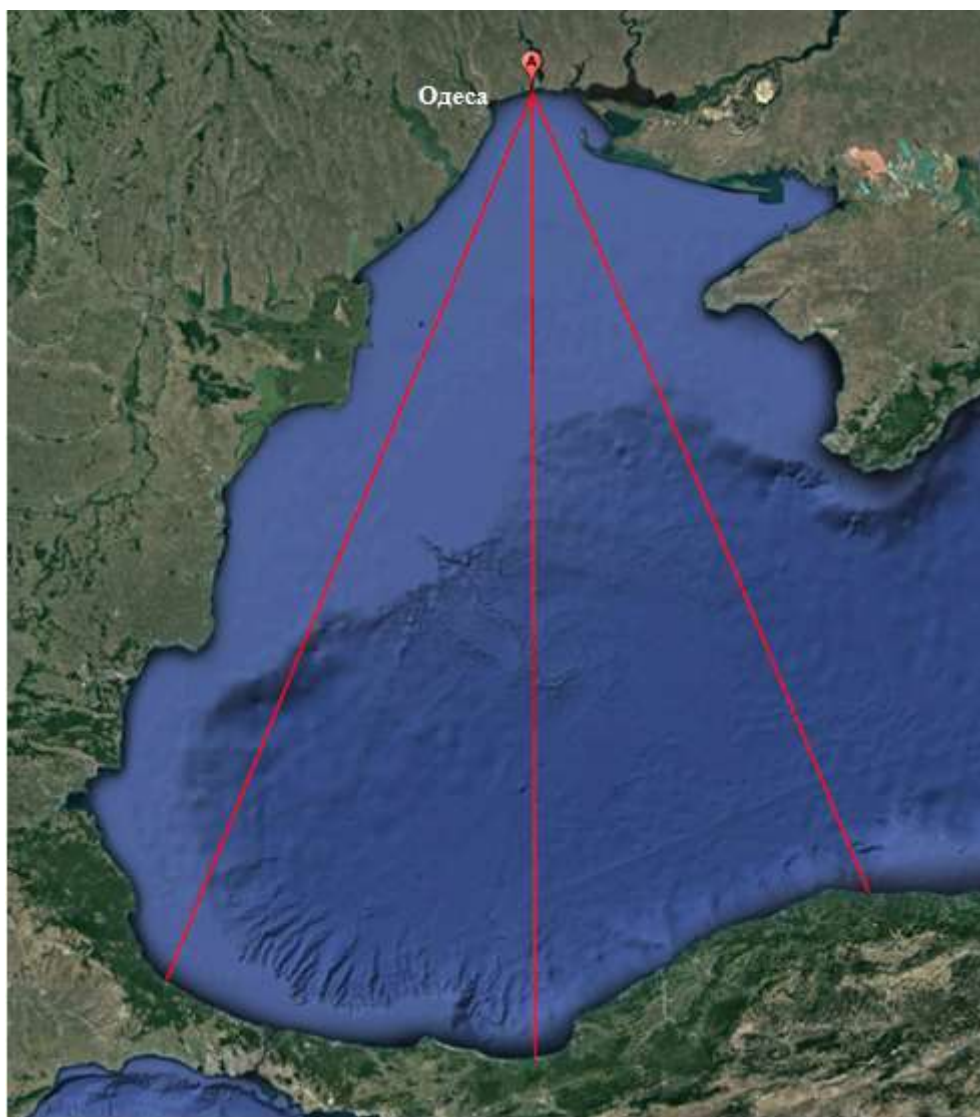


Рис. 2 – Сектор впливу хвилювання південного напрямку $180 \pm 22,5^\circ$
(відстань від протилежного берега 540-610 км)
Fig. 2 – The sector of influence of the disturbance of the southern direction is $180 \pm 22.5^\circ$
(distance from the opposite shore 540-610 km)

стану пляжу міста Южне, надання загальних пропозицій його захисту від деградації. Задачі дослідження: за даними геодезичної зйомки та геологічних досліджень побудувати профілі характерних відрізків пляжу і визначити характеристики ґрунтів берегового схилу; розрахувати критичні швидкості початку руху пляжного матеріалу та параметри

вітрового хвилювання рідкісної повторюваності, виконати аналіз режиму рівня води, розрахувати штормовий нагін; розрахувати профілі динамічної рівноваги, побудувати їх на профілях берегового схилу при різному стоянні рівню води і дати прогноз можливих змін берегового схилу; надати загальні пропозиції захисту пляжу від деградації.

Матеріали і методи дослідження

Інформаційну базу дослідження складають: технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування, виконані ТОВ «Інженерний центр «Геобест» [12]; нормативна та технічна література з питань оцінки стану й захисту пляжів.

Основними методами досліджень є методи математичної статистики і математичного моделювання, порівняльний аналіз, картографічні і графоаналітичні дослідження.

При визначенні характеристик ґрунтів пляжу (розрахункових діаметрів частинок піску), необхідних для визначення критичних швидкостей розмиву й побудови ПВДР, використано метод лінійного аналізу. При апроксимації залежності «діаметр частинок – частковий вміст» використана експоненціальна залежність

$$d_p = a * \exp(bP), \quad (1)$$

де d_p – діаметр частинок з частковим вмістом P , мм; P – сумарний частковий вміст частинок, %; a і b – параметри залежності.

Виконано вирівнювання вихідних даних:

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

Методом найменших квадратів знайдені параметри лінії регресії:

$$b = r(P; Y) \sigma(Y) / \sigma(P), \quad (2)$$

$$a^* = Y_{CP} - bP_{CP} \rightarrow a = \exp(a^*), \quad (3)$$

де $r(P; Y)$ – коефіцієнт кореляції; $\sigma(Y)$ і $\sigma(P)$ – середньоквадратичне відхилення рядів Y і P ; Y_{CP} і P_{CP} – середні значення рядів Y і P .

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

$$F_p = \exp(-aV_m^b) \quad (4)$$

$$\rightarrow 1/F_p = \exp(aV_m^b) \rightarrow \ln(1/F_p) = aV_m^b \rightarrow$$

$$\ln \ln(1/F_p) = \ln a + b \ln V_m \rightarrow$$

$$\rightarrow \{Y = \ln \ln(1/F_p); X = \ln V_m\} \rightarrow Y = a^* + bX,$$

де F_p – забезпеченість швидкості вітру у режимі; V_m – швидкість вітру; a і b – параметри закону Вейбулла.

Критичні швидкості розмиву розраховані за формулою (джерело надано в [13])

$$v_{дон} = a(R/d_p)^x [n_y \eta P_s / \rho_s]^{0.5}, \quad (5)$$

де $v_{дон}$ – допустима середня швидкість потоку, м/с; a – коефіцієнт дорівнює: для стадії початку руху частинок ґрунту – 2,06; для стадії початку руху грядок – 3,18; для стадії початку змулювання частинок ґрунту – 5,96; R – гідравлічний радіус, м, для річок дорівнює середньої глибини; d_p – розрахунковий діаметр частинок ґрунту, м, для однорідних піщаних ґрунтів приймають рівним d_{50} , для неоднорідних – d_{85} ; x – показник ступеня дорівнює: для стадії початку руху ґрунту – 0,17; для стадії початку руху грядок – 0,14; для стадії початку змулювання частинок ґрунту – 0,10; n_y – коефіцієнт умов роботи (прийнятий рівним 1,0); $\eta = H/H_{om}$ – відносна глибина потоку; H_{om} – глибина потоку на схилі, м, для дна $H_{om} = H$; $P_s = g \rho_1 d_p \{f^2 - (1/m_2) + [C_p / (g \rho_1 d_p)] [2f + C_p / (g \rho_1 d_p)]\}^{0.5}$ – показник міцності ґрунту, Па; m_2 – коефіцієнт закладення укусу; $P_s = g \rho_1 d_{50} f + C_p$ – показник міцності ґрунту для дна (дорівнює 0,739), Па; $\rho_1 = (\rho_s - \rho_6)(1 - n_s)$ – щільність ґрунту зваженого водою (прийнято 561), кг/м³; ρ_s – щільність частинок ґрунту (прийнята 2660), кг/м³; ρ_6 – щільність води, кг/м³; n_s – пористість ґрунту (прийнята рівною 0,662); d_{85} – ефективний діаметр частинок, м, (прийнято рівним – 0,00088); f – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту в воді (прийнятий рівним – 0,577); $C_p = 0,0032 / (d_{85})^{0.5}$ – розрахункове зчеплення ґрунту при розриві в воді (для ґрунту розглядуваної ділянки дорівнює 0,109), Па.

Розрахунок висоти і періоду розвинутого вітрового хвилювання в глибоководній зоні ($d > 0,5 \lambda_d$) виконано за формулами (джерело надано в [13]):

$$gh_d/V_w^2 = 0,16\{1-[1/(1+0,006(gL/V_w^2)^{0,5})]^2\}, \quad (6)$$

$$gT_d/V_w = 2\pi*3,1(gh_d/V_w^2)^{0,625}, \quad (7)$$

$$\lambda_d = gT_d^2/(2\pi) \quad (8)$$

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.

Елементи несталого вітрового хвилювання визначаються з урахуванням тривалості дії вітру, яка в безрозмірному вигляді виражається залежністю:

$$gt/V_w = 16(gL/V_w^2)^{0,785}, \quad (9)$$

$$gL/V_w^2 = [(gt/V_w)/16]^{1,274}, \quad (10)$$

де t – тривалість дії вітру, с.

Висота хвиль розраховується (джерело надано в [13]) по $(gh_d/V_w^2)_L$ й по $(gh_d/V_w^2)_t$ і з двох значень приймається мінімальне.

Розрахунок трансформації хвиль, що переміщуються з глибоководної зони в мілководну ($0,5\lambda_d \geq d > d_{cr}$), виконано відповідно до [12] за формулою:

$$h_i = k_t * k_r * k_l * k_i * h_d, \quad (11)$$

де h_i – висота хвиль забезпеченістю $i\%$ в системі на розглянутій глибині; k_t – коефіцієнт трансформації, розраховується методом послідовного приближення за співвідношеннями:

$$k_t = \{C_N[1+4\pi/C_N*d/\lambda_d(\text{sh}[4\pi/C_N*d/\lambda_d])^{-1}]\}^{-0,5}, \quad (12)$$

$$C_N = th(2\pi/C_N*d/\lambda_d); \quad (13)$$

k_r – коефіцієнт рефракції (джерело в [13]); k_l – коефіцієнт узагальнених втрат (джерело надано в [13]); k_i – перехідний коефіцієнт від середньої висоти хвиль в системі до $i\%$.

Глибина першого обвалення хвиль розраховується методом послідовного наближення (згідно джерелу в [13]) по залежностям, що визначають трансформування хвиль, які прямують з глибоководної зони в мілководну зону (наведено раніше).

Глибина останнього обвалення ($d_{cr,u}$) розраховується підбором по залежності:

$$d_{cr,u} = k_u^{n-1} * d_{cr}, \quad (14)$$

де k_u – коефіцієнт, що визначається в залежності від ухилу дна; n – число обвалень, включаючи перше.

Розрахунок припиняється при $k_u^{n-2} \geq 0,43$ і $k_u^{n-1} < 0,43$. (15)

При ухилах дна більше 0,05 приймають – $d_{cr} = d_{cr,u}$.

Перевищення вершини хвилі над розрахунковим рівнем при ухилах дна $0,01 < d_{cr}/\lambda_d \leq 0,1$ визначають за формулою:

$$\eta/h_i = 2,28 - 1,28(1 + 0,61(d_r/\lambda_d)^{0,5}). \quad (16)$$

Розрахунок висоти вітрового нагону виконується методом послідовного наближення за формулою (джерело надано в [13])

$$\eta_w = k_w V_w L \cos \alpha / g / (d + \eta_w), \quad (17)$$

де η_w – висота вітрового нагону, м; k_w – коефіцієнт, залежить від швидкості вітру; V_w – швидкість вітру, м/с; L – довжина розгону, м; α – кут між поздовжньою віссю водойми і напрямком вітру, град.; d – глибина, м.

Побудову профілю відносної динамічної рівноваги виконано за формулами (18) і (19) (джерела надано в [13]). Від урізу води до глибини першого обвалення хвиль профіль описується наступними залежностями:

$$d = AX^{2/3}, \quad (18)$$

$$A = 2,25(W_s^2/g)^{1/3}, \quad (19)$$

де d – глибина, м; A – параметр форми; X – відстань від берега (урізу), м; W_s – гідралічна крупність наносів, см/с.

Гідралічна крупність визначається для частинок з характерним діаметром d_{50} (з медіанним розміром).

Відстань від урізу води до глибини першого обвалення хвиль X_C знаходиться зворотним розрахунком:

$$X_C = (d_{cr}/A)^{3/2}. \quad (20)$$

При $X > X_C$ розрахунок виконується за формулами

$$d = d_{cr1\%} + \exp[a(X - X_C)] - 1; \quad (21)$$

$$a = 2A/(3X^{1/3}). \quad (22)$$

Середній ухил i_{II} надводної частини берегового схилу визначається в залежності від d_{50} (джерело надано в [13]). Для пісків пляжу м. Южне i_{II} дорівнює 0,03.

Профіль відносної динамічної рівноваги дозволяє прогнозувати зміни профілю берегового схилу під впливом хвилювання та кількісно оцінити можливі планові переміщення урізу води і об'єми змиву пляжного матеріалу.

Результати та обговорення

При аналізі вихідних даних [12] встановлено наступне. Розглянута ділянка – пляж м. Южне довжиною приблизно 700 м

на узбережжі Чорного моря (рис. 1). Хвиле-небезпечним є південний напрямок в секторі $180 \pm 22,5^\circ$ (рис. 2).

Відстань місця розташування пляжу від протилежного берега моря (розгін хвиль) складає 540–610 км. Відстань від пляжу до ізобати 75 м становить приблизно 200 км, до ізобати 50 м – 140 км. Довжина глибоководної зони – 340–400 км. Тривалість шторму в середньому становить – 12 годин.

У таких умовах на акваторії Чорного моря при вітрах південного напрямку рідкісної повторюваності на підході до мілководної зони (<75 м) виникає розвинене хвилювання з граничними параметрами хвиль. Далі хвилювання трансформується в мілководній зоні і впливає на узбережжя.

Пісок пляжу дрібний, неоднорідний (показник $C_v=6,8>3$), щільність $1,86 \text{ кг/дм}^3$, щільність частинок $2,65 \text{ кг/дм}^3$, кут внутріш-

нього тертя 26° . Корінний беріг складений суглинками – тонко уламковою осадовою пухкою породою континентального походження, що легко руйнується водою.

При розрахунках за методиками, викладеними раніше, отримано наступне.

За даними [12] з використанням формул (1)-(3) апроксимована залежність «діаметр частинок – частковий вміст» ($d_p=0,0399 \cdot \exp(0,0384p)$) на рис. 3 й визначені характерні діаметри пісків пляжу: $d_{50}=0,27 \text{ мм}$, $d_{85}=1,05 \text{ мм}$. Показники d_{50} і d_{85} використовують при побудові профілю динамічної рівноваги та при оцінці критичних швидкостей течії, при яких відбувається початок різних способів руху донних наносів.

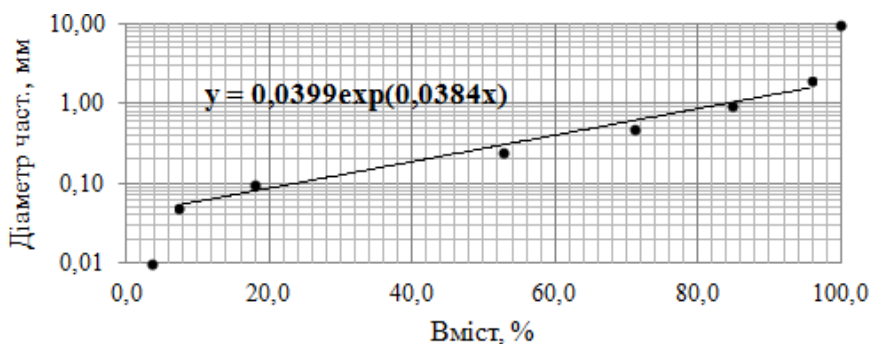


Рис. 3 – Гранулометричний склад пісків пляжу
Fig. 3 – Granulometric composition of beach sands

Визначення розрахункової швидкості вітру виконано з використанням формули (4) за даними спостережень за максимальними річними швидкостями вітру в районі м. Южне. Отримана залежність має вигляд (рис. 4)

$$V_M = [(2,83 \cdot 10^{+12}) \cdot \ln(1/F)]^{0,104}$$

Максимальна річна швидкість вітру південного напрямку повторюваністю 1 раз в 25 років (4%) складає $22,6 \text{ м/с}$.

Розрахунок критичних швидкостей

течії для пісків пляжу виконано за формулою (5). Швидкість початку руху частинок пляжного матеріалу (початку руху донних наносів) складає $0,46 \text{ м/с}$, початок руху грядок відбувається при швидкості течії $0,56 \text{ м/с}$, початок змулювання (розмиву донних відкладів) – $0,76 \text{ м/с}$.

Розрахунок параметрів вітрового хвилювання виконано за формулами (6)-(17). При швидкості вітру $22,6 \text{ м/с}$ отримано:

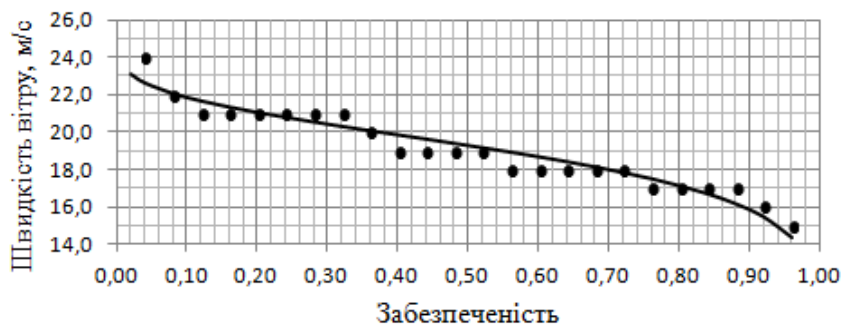


Рис. 4 – Емпіричний та аналітичний розподіл максимальної річної швидкості вітру
Fig. 4 – Empirical and analytical distribution of maximum annual wind speed

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 $\lambda_d = 152$ 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; $\lambda_{CP} = 96$ 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 приурізівної зони ($d = d_{cr,u}$) – $d_{cr,u} = 3,61$ м; $h_{CP} = 1,46$ м; $T_{CP} = 9,9$ с; $\lambda_{CP} = 57,3$ м; $h_{5\%} = 2,46$ м; $\eta_{c5\%} = 2,16$ м; $h_{1\%} = 2,87$ м; $\eta_{c1\%} = 2,52$ м;

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

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

на глибині 2,0 м – $h_{CP} = 1,17$ м; $T_{CP} = 9,9$

с; $\lambda_{CP} = 43,1$ м; $h_{5\%} = 1,71$ м; $\eta_{c5\%} = 1,56$ м; $h_{1\%} = 1,91$ м; $\eta_{c1\%} = 1,74$ м.

Максимальна донна швидкість течії у прибійній зоні – 2,04 м/с.

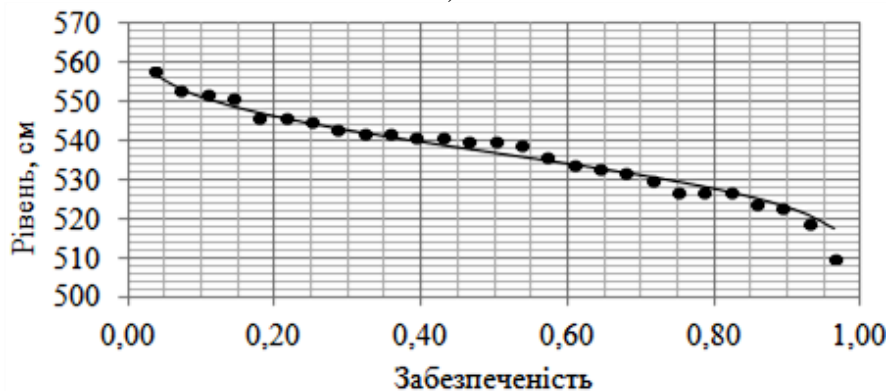
Висота накату хвиль на берег забезпеченістю 1% в системі – 2,22 м; ширина накату хвиль (відстань від урізу води до границі накату хвиль на берег) – 13,1 м.

Режими максимальних і середніх річних рівнів води представлені на рис. 5. Для апроксимації використано логнормальний розподіл.

Розрахунковими прийнято рівні забезпеченістю 50%: максимальні річні – 537 см відносно єдиного «0» рівномірних постів («+»0,37 м БС); середні річні – 490 см відносно єдиного «0» рівномірних постів («-»0,10 м БС).

Профіль відносної динамічної рівноваги (табл. 1) розрахований за формулами (18)-(22) (джерела надано в [13]) при наступних умовах: глибина першого обвалення

a)



б)

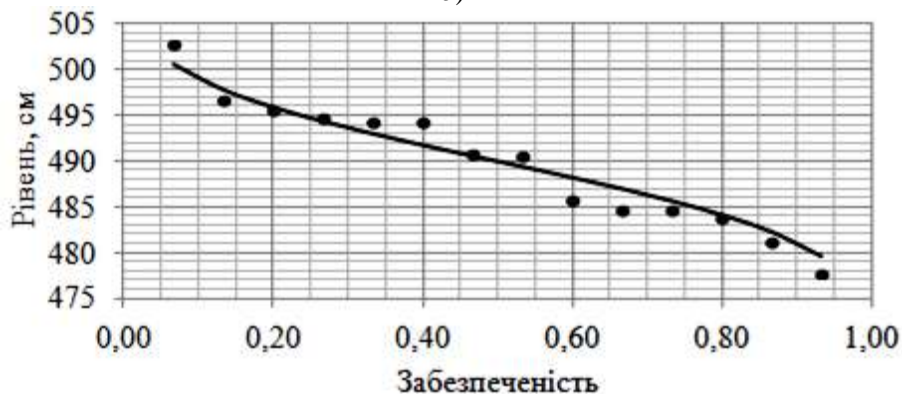


Рис. 5 – Емпіричний і теоретичний розподіл максимальних (а) і середніх (б) річних рівнів моря (см над єдиним «0» рівне мірних постів) в районі п. Южне (єдиний «0» рівнемірних постів має відмітку «-»5,00 м БС)

Fig. 5 – Empirical and theoretical distribution of maximum (a) and average (b) annual sea levels (cm above the only “0” of the level-measuring posts) in the area of Yuzhne (the only “0” of the level-measuring posts has a mark of “-”5.00 m BS)

Таблиця 1

Профіль відносної динамічної рівноваги (розмірність відстані і відміток – м)

Table 1

Profile of relative dynamic equilibrium (dimension of distance and marks – m)

ПВДР		ПВДР		ПВДР		ПВДР	
Відстань	Відмітка	Відстань	Відмітка	Відстань	Відмітка	Відстань	Відмітка
-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

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 до глибини першого обвалення хвиль – 1230 м; середній хил надводної частини берегового схилу – 0,03. Таким чином, при хвилюванні південного напрямку рідкісної повторюваності в районі розглянутого пляжу придонна швидкість течії набагато більше критичних швидкостей руху донних відкладів, в результаті чого формується профіль відносної динамічної рівноваги (ПВДР) з зовнішній межею на відстані від берегу до 1200 м і глибиною 11,4 м. Межа між приурізовою і прибійною зонами ПВДР у даному випадку знаходиться на відстані 220 м з глибиною 3,6 м. 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. 6-11 побудовано профілі берегового схилу і ПВДР в точках А, С і D (рис. 1) досліджуваного пляжу при високому («+»0,37 м БС) і середньому («-»0,10 м БС) стоянні рівня моря. На цих рисунках маркером коло позначено розташування урізу води на відмітки 0,0 м БС. В граничних точках пляжу А і В профілі берегового схилу ідентичні, тому на рис. 6 показано тільки профіль в точці А.

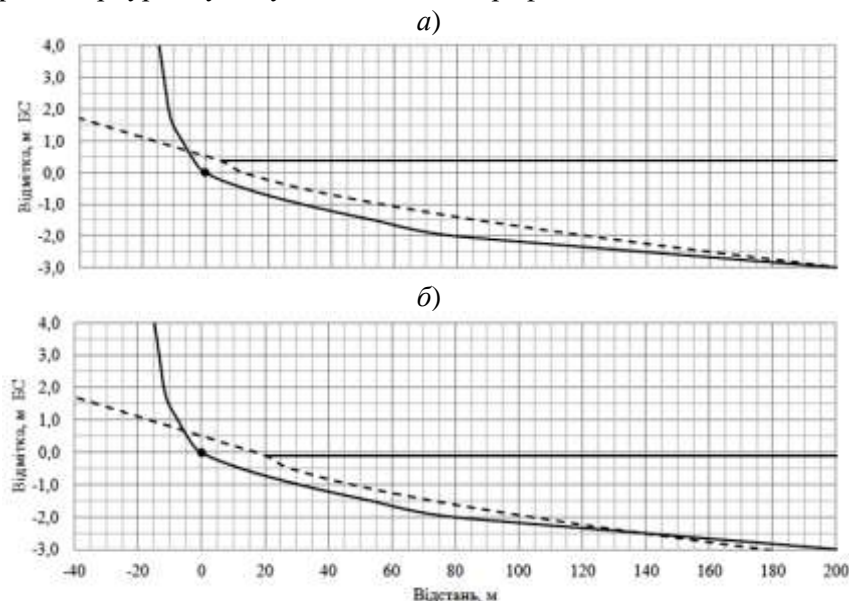


Рис. 6 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці А при стоянні рівню на відмітки «+»0,37 м БС (а) і «-»0,10 м БС (б)

Fig. 6 – Profile of the coastal slope and PVDR (dashed line) at point A when the level is at the “+”0.37 m BS (a) and “-”0.10 m BS (b) marks

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.

В точках А і В розглянутої ділянки узбережжя при штормах південного напрямку рідкісної повторюваності буде відбуватися руйнування корінного берега. ПВДР буде формуватися за рахунок переміщення руйнованого матеріалу в приуризову зону з наступом

урізу води в бік моря: при високому стоянні рівня (рис. 6а) на відстань до 10 м; при середньому (рис. 6б) – до 20 м.

В точці С профіль надводного схилу має менший ухил, корінний берег знаходиться далі від урізу води (рис. 7). При формуванні ПВДР можливе руйнування корінного берега і кумуляція руйнованого матеріалу в приуризовій зоні з наступом урізу води в бік моря: при високому стоянні рівня моря (рис. 7а) – до 5-10 м; при середньому – до 20 м (рис. 7б).

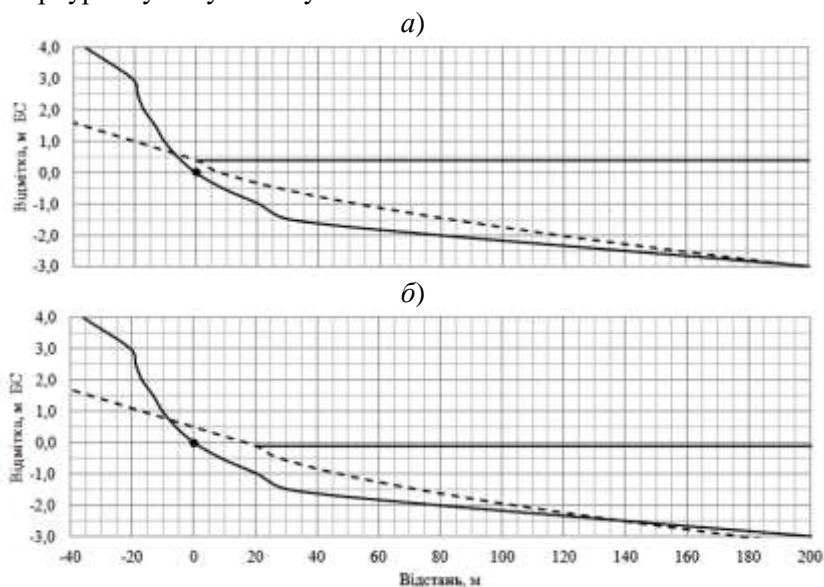


Рис. 7 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці С при стоянні рівню на відмітці: а – «+»0,37 м БС; б – «-»0,10 м БС

Fig. 7 – Profile of the coastal slope and PVDR (dotted line) at point C when leveling at the marks: а – "+"0.37 m BS; б – "-0.10 m BS

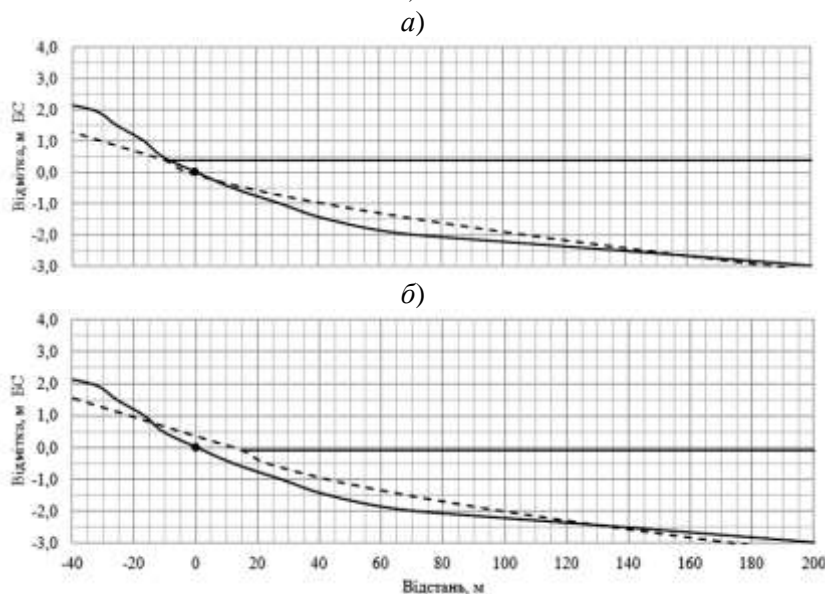


Рис. 8 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці D при стоянні рівню на відмітці: а – «+»0,37 м БС; б – «-»0,10 м БС

Fig. 8 – Profile of the coastal slope and PVDR (dotted line) at point D when standing level on the marks: а – "+"0.37 m BS; б – "-0.10 m BS

В точці D профіль надводної частини берегового схилу пологий (рис. 8), 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.8а).

При середньому – можливе зміщення в бік моря на відстань до 15 м (рис.8б).

Руйнування корінного берега є непринятною 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 в точках А і В за рахунок переміщення його матеріалу на підводну частину берегового схилу (рис. 9).

Задля забезпечення стійкості пляжу

біля точок А і В можна рекомендувати підпирну 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).

Для ділянки пляжу, де корінний берег знаходиться на відстані більш 20 м (точки С і D рис.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. 11). 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. 11 а і в). При високому стоянні рівня (рис. 11 б і г) захисна полоса буде зникати, тому необхідне епізодичне підсилення пляжного матеріалу.

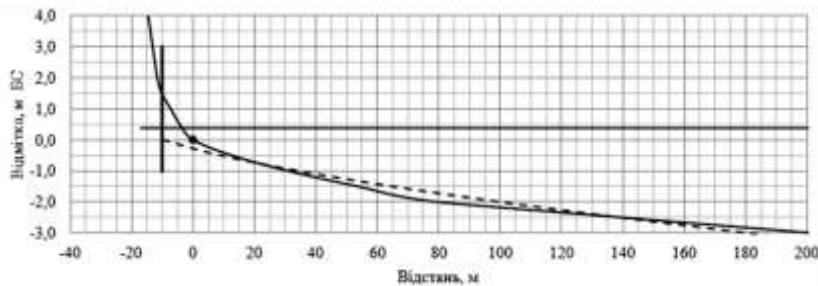


Рис. 9 – Профіль берегового схилу і ПВДР (пунктир) в точці А з підпірною стінкою (висота стінки задана умовно) при стоянні рівню моря на відмітки «+»0,37 м БС

Fig. 9 – Profile of the coastal slope and PVDR (dotted line) at point A with a retaining wall (the height of the wall is set conditionally) when the sea level is at the “+” mark of 0.37 m BS

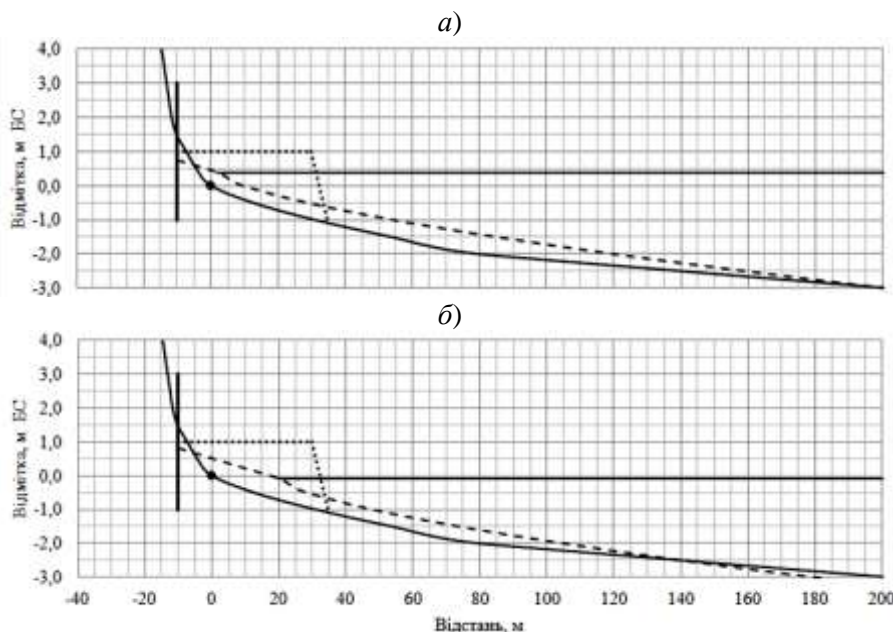


Рис. 10 – Формування ПВДР при захисті крайніх ділянок пляжу: а – стояння рівню моря на відмітки «+»0,37 м БС; б – «-»0,10 м БС

Fig. 10 – Formation of the PVDR during the protection of the extreme areas of the beach: a – sea level standing at the “+” mark of 0.37 m BS; b – “-” 0.10 m BS

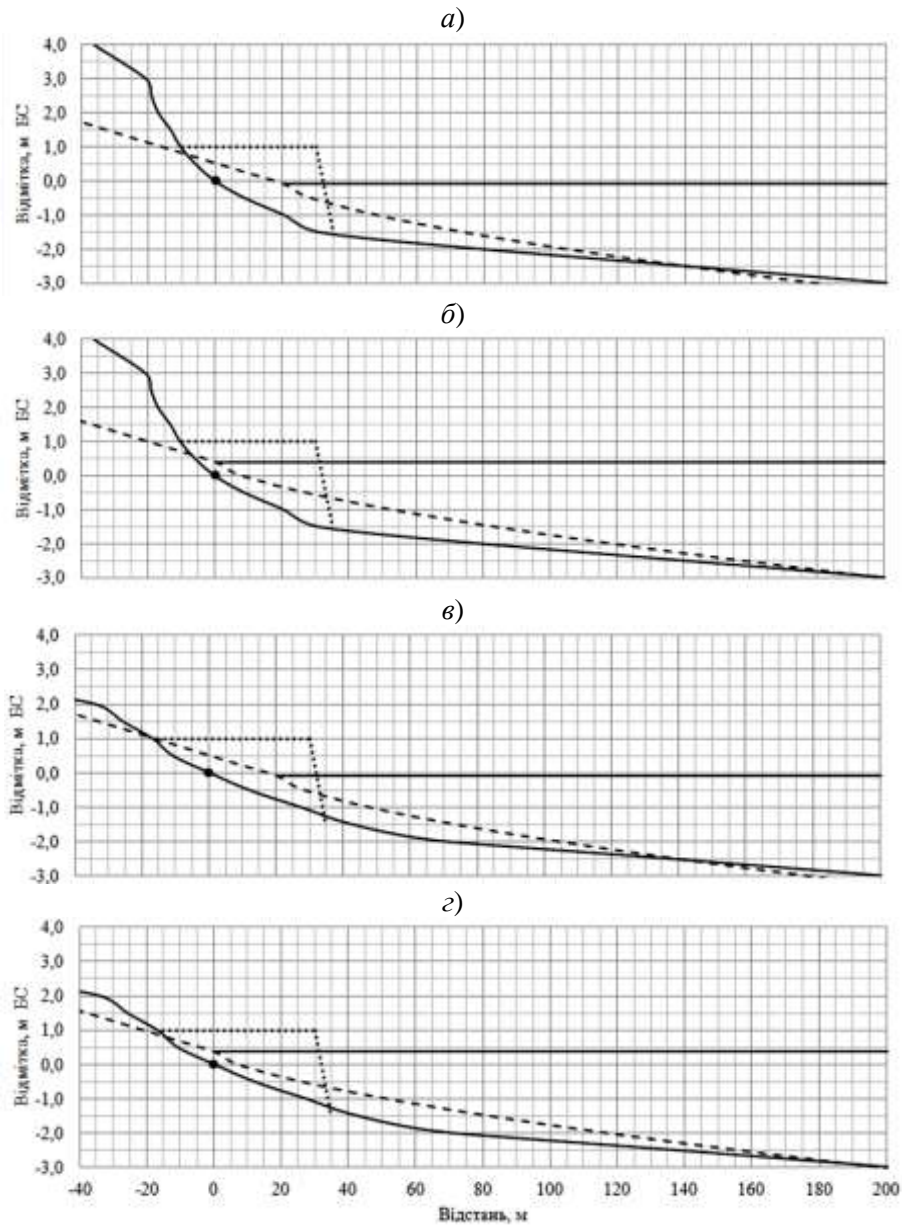


Рис. 11 – Формування ПВДР при захисті пляжу в районі точок С (а і б) і D (в і г) при різному стоянні рівня моря

Fig. 11 – The formation of the PVDR during the protection of the beach in the area of points C (a and b) and D (c and d) at different sea levels

Висновки

Розглянута ділянка – пляж м. Южне довжиною приблизно 700 м на узбережжі Чорного моря. Хвиленебезпечним є південний напрямок в секторі $180 \pm 22,5^\circ$. 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.

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.

При розрахунковому хвилюванні формується профіль відносної динамічної рівноваги протяжністю 1200 м з глибиною на цієї відстані 11,2 м. Від урізу води межа між приурізковою і прибійною зонами знаходиться на відстані 220 м з глибиною 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 на відмітки 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 надводній 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 відміткою верха «+»1,0 м БС і шириною 40-45 м від стінки (з межею на відстані 30 м від урізу води).

На ділянках пляжу де корінний берег не знаходиться під впливом хвилювання, для забезпечення рекреаційної цінності пляжу можна рекомендувати тільки відсипку шару піску з відміткою 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).

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.

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

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Вихованець, Г. В., Панкратенкова, Д. О. Вплив антропогенного фактора на сучасний стан акумулятивних форм рельєфу північно-західної частини Чорного моря. *Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2018. Т. 23. Вип. 1(32). С. 11-32. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.1\(32\).141939](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.1(32).141939)
2. Вихованець Г.В., Панкратенкова Д.О. До питання про характеристики підводного схилу у береговій зоні Чорного моря. «Зимові наукові читання»: 3-я міжнар. конф. (Київ, 31 січн. 2018р.). Київ: Центр наукових публікацій, 2018. URL:<http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/29577>
3. Вихованець Г.В., Муркалов А.Б., Стоян А.А. Динамічна стійкість розмірів піщаних пляжів. *Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2014. Т. 19. Вип. 1. С. 53-68. URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=23918651>
4. 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.)*. Х.: ХНУ ім. ВН Каразіна. 2019. С. 55-58. URL:<http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/10039>
5. Давидов, О.В., Чаус, В.Б., Онойко Ю. Ю., Роскос, О.М., Сімченко С.В. 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. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2021-15-4>
6. Давидов О. В., Котовський І. М., Онойко Ю. Ю., Сімченко С. В. Морфологія поверхні та динаміка берегової лінії дистальні коси Джарилгач. *Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки*. 2022. Т. 27, Вип. 2. С. 11-27. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268697](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268697)
7. Козлова Т. В., Черкез Є. А., Ботнар М. Г., Газетов Є. І., Снігирьов С. М. Морфоструктурні особливості абразійно-зсувного бенчу Одеського узбережжя Чорного моря. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2017. №. 22, Вип. 2. С. 159-171. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2017.2\(31\).120891](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2017.2(31).120891)

8. Шуйський Ю.Д. Особливості природних комплексів у береговій зоні морів . *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*. 2015. Т. 20, Вип. 1. С. 97-113. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2015.1\(24\).60045](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2015.1(24).60045)
9. Шуйський Ю. Д. Фактори формування бенчів у береговій зоні морів. *Теорія і практика берегознавства та природокористування*: матер. міжнар. конф. (Одеса, 30-31 травня 2022 р.). Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. URL: <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/35092>
10. Шуйський Ю. Д. Історія розвитку та методологія берегознавства: монографія. Одеса: Астропринт, 2018. 448 с. URL: <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/20208>
11. Шуйський, Ю. Д. Портові споруди та їх вплив на берегову зону Чорного моря. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 2019. Т. 24. №(1(34)), С. 53–82. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1\(34\).169712](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1(34).169712)
12. 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.
13. 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>

Стаття надійшла до редакції 30.08.2023

Стаття рекомендована до друку 25.09.2023

S. M. YURASOV¹, PhD (Technical Sciences),

Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

S. P. NAGAYEVA¹, PhD (Geography),

Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection
e-mail: angelsvet715@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6365-7419>

N. V. GRABKO¹,

Art. teacher of the Department of Ecology and Environmental Protection
e-mail: grabkonatalyavikt@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1412-5683>

O. O. VOROBYOV¹,

Master of the Department of Ecology and Environmental Protection
e-mail: zkcnskkvkwibgj@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-8035-5586>

¹*Odesa State Environmental University*

15, Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

FORECAST OF CHANGES IN THE BEACH CONDITION OF THE YUZHNE CITY UNDER THE INFLUENCE NATURAL FACTORS

The study of the factors of degradation and the forecast of the state of recreational areas of the coast to prevent their negative changes is relevant.

Purpose. Forecast of changes in the condition of the Yuzhne beach, provision of general proposals for its protection from degradation.

Methods. Mathematical statistics, linear analysis and mathematical modeling, comparative analysis, cartographic and grapho-analytical studies.

Results. The beach of Yuzhne is located on the coast of the Black Sea. Its length is approximately 700 m. The southern direction in the sector $180 \pm 22.5^\circ$ 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 is at a distance of approximately 200 km with a depth of 75 m.

With southerly winds, recurring once every 25 years, on the approach to the shallow water zone with a depth of 50-75 m, a developed disturbance with extreme wave parameters is formed, which, transforming in the shallow water zone, significantly affects the coast. A profile of relative dynamic equilibrium with a length of 1,200 m and a depth at this distance of 11.2 m is formed during the calculated disturbance. From the water cut, the boundary between the near-cut and surf zones is located at a distance of 220 m with a depth of 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 disturbance moves the destroyed material with the beach material into the cut-off zone, while the water cut at the 0.0 m BS mark 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 level of the sea, 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 on the above-water part of the coastal slope is also observed.

Conclusion. Without taking special protection measures, the beach of the Yuzhne city will degrade in the future. In areas of the beach, in order to prevent its erosion, it is necessary to erect a retaining wall with a backfilling layer. An option for an active method of protection can be the construction of permeable bunkers on the beach or an intermittent breakwater at a distance from the shore. Such protection will not impede the alongshore transport of sand. Dunes or waves will contribute to the accumulation of sand on the beach. At the same time, after strong storms from the southern direction, with high sea level, episodic additions of sand to the beach are necessary.

KEYWORDS: *beach, estimated wind speed, wave mode, wave parameters, grain size composition, dynamic equilibrium profile*

References

1. Vykhovanets, G.V., & Pankratenkova, D.O. (2018). The effect of anthropogenic factor on the modern condition of accumulative forms of relief of the North-Western part of the Black Sea. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 23(1(32)), 11–32. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.1\(32\).141939](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.1(32).141939) (in Russian)
2. Vykhovanets, G.V., & Pankratenkova, D.O. (2018). Regarding the characteristics of the underwater slope in the coastal zone of the Black Sea. *Proceedings of the 3rd International conf. "Winter Scientific Readings"*: (Kyiv, January 31, 2018). Kyiv: Center for Scientific Publications. Retrieved from <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/29577> (in Russian)
3. Vykhovanets, G. V., Murkalov, A. B., & Stoyan, A. A. (2015). Dynamical steadiness of sandy beaches sizes in the Black Sea coastal zone. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 19(1(20)), 53–68. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.1\(20\).40571](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.1(20).40571) (in Ukrainian)
4. Davydov, O. V., & Simchenko, S. V. (2019). Methodical aspects of the research of the coastal zone within the Kinburnska-Pokrovska-Dovgiy system of the "Krylaty Cape" type. *Region-2019: Strategy of optimal development: mater. international science and practice conference (Kharkov, October 16-17, 2019)*. Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 55-58. Retrieved from <http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/10039> (in Ukrainian)
5. Davydov, O. V., Chaus, V. B., Onoiko, Y. Yu., Roskos, O. M., & Simchenko, S. V. (2021). Monitoring of the morphodynamics of the Kinburnska-Pokrovska-Dovgiy coastal barrier "Krylaty Cape" (for 2019–2021 роки). *Scientific Bulletin of Kherson State University. "Geographic Sciences" series*, 15, 39-50. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2021-15-4> (in Ukrainian)
6. Davydov, O. V., Kotovskyi, I. M., Onoiko, Yu. Yu., & Simchenko C. V. (2022). Surface morphology and dynamics coastline of the distal Dzharylgach Spit. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 27(2(41)), 11–27. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268697](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268697)
7. Kozlova, T. V., Cherkez, E. A., Botnar, M. G., Gazetov, E. I., & Snigiriev, S. M. (2017). Morphostructure peculiarities of odessa coast abrasive-landslide bench of the Black Sea. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 22(2(31)), 159–171. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2017.2\(31\).120891](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2017.2(31).120891) (in Ukrainian)
8. Shuisky, Y. D. (2016). Natural complex peculiarities in coastal zone of seas. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 20(1(24)), 97–113. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2015.1\(24\).60045](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2015.1(24).60045) (in Russian)
9. Shuisky, Yu. D. (2022). Factors of formation of benches in the coastal zone of the seas. *Proceedings of the international conf. "Theory and practice of coastal science and nature management"*. (Odesa, May 30-31, 2022). Odesa: Odesa. Mechnikov national University . Retrieved from <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/35092> (in Russian)
10. Shuisky, Yu. D. (2018). History of development and methodology of coastal science: monograph. Odesa: Astropoint, 448. Retrieved from <http://dspace.onu.edu.ua:8080/handle/123456789/20208> (in Russian).
11. Shuisky, Yu. D. (2019). Port facilities and their influence on the coastal zone of the Black Sea. *Odesa National University Herald. Geography and Geology* 24(1), 53-82. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1\(34\).169712](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1(34).169712) (in Russian)
12. TOV «Inzhenernyi tsentr «Heobest». (2020). *Technical report on engineering and geological surveys at the site: "New construction of a shore protection structure along the street. Azure in the city of Nikolaev » (1509/1457)*. Dnipro. (in Ukrainian)
13. Yurasov S.M., & Nahaieva S.P. (2020). Forecast of changes in the condition of the Mykolaiv beach under the influence of natural factors. *Man and environment. Issues of neoecology*, 34, 68-78. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-07> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 30.08.2023

The article is recommended for printing 25.09.2023