

С. М. ЮРАСОВ¹, канд. техн. наук, доц., С. П. НАГАЄВА¹, канд. геогр. наук, доц.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна

e-mail: urasen54@gmail.com
angelsvet715@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

ПРОГНОЗ ЗМІНИ СТАНУ ПЛЯЖУ МІСТА МИКОЛАЇВ ПІД ВПЛИВОМ ПРИРОДНИХ ЧИННИКІВ

Мета. Прогноз зміни стану пляжу міста Миколаїв, загальні пропозиції заходів його захисту від деградації.

Методи. Математичної статистики, лінійного аналізу й математичного моделювання, порівняльного аналізу, картографічних і графоаналітичних досліджень.

Результати. Пляж міста Миколаїв є смугою узбережжя великого водного об'єкту, де об'єдналися особливості переформування берегів водойм і річок. Розташування пляжу на опуклому березі Бузького лиману утворює умови накопичення піску за рахунок вздовжберегового переміщення наносів за стоковою течією. Але, ширина лиману і глибини сприяють утворенню вітрового хвилювання в секторі Пд-З-Пн, здібного руйнувати пляж. На пляжі під час проходження весняних повеней або при сильних сгінно-нагінних явищах можливо вздовжберегове переміщення пісків у великих обсягах в залежності від тривалості впливу сильної течії, але транспортування наносів уздовж пляжу не впливає суттєво на зміни абрису його берегового схилу. Суттєве руйнування пляжу може відбутися від штормів рідкісної повторюваності в секторі Пд-З-Пн. Фронтальні шторми західного напрямку формують профіль відносної динамічної рівноваги і сприяють переміщенню пісків на глибину. При підході хвиль під кутом до лінії берега відбувається вздовжбереговий транспорт пісків. Захист пляжу від розмиву можливо здійснити за допомогою пасивних або активних методів. Подальші дослідження будуть спрямовані на кількісний аналіз сценарію переміщення піску уздовж пляжу з його накопиченням на виступаючій частині пляжу (точка С) і змив накопиченого піску на глибину під впливом західних штормів.

Висновок. Без прийняття спеціальних заходів по захисту пляж м. Миколаїв у подальшому буде деградувати.

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

Yurasov S. N.¹, Nagaeva S. P.¹

Odessa State Ecological University

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

Purpose. The forecast of a condition of a beach of the city of Nikolayev, the general offers of measures of its protection against degradation.

Methods. The forecast of a condition of a beach of the city of Nikolayev is made with use of methods of mathematical statistics and mathematical modeling, the comparative analysis, cartographic and graph analytical researches.

Results. The beach of the city of Nikolayev is a strip of coast of the big water object where features of reforming of coasts of reservoirs and the rivers united. The location of the beach on the convex shore of the Bug estuary creates the conditions for the accumulation of sand due to the coastal movement of sediments downstream. However, the width of the estuary and the depth contribute to the formation of wind turbulence in the sector S-Z-Pn, which can destroy the beach. On the beach during the spring floods or in severe down pouring phenomena, long-coastal movement of sands in large volumes is possible depending on the duration of strong currents, but the transportation of sediments along the beach does not significantly affect changes in the outline of its coastal slope. Significant destruction of the beach can occur from storms of rare recurrence in the sector S-SW. Western frontal storms form a profile of relative dynamic equilibrium and contribute to the movement of sands to depth. When the waves approach at an angle to the shoreline is the longitudinal transport of sand. Protection of the beach from erosion can be done by passive or active methods. Further research will focus on a quantitative analysis of the

scenario of sand movement along the beach with its accumulation on the protruding part of the beach (point C) and washing away the accumulated sand to a depth under the influence of western storms.

Conclusion. Without acceptance of special measures for protection the beach of Nikolayev in the future will degrade.

KEYWORDS: beach degradation, excitation regime, excitation parameters, wind speed, particle size distribution, dynamic equilibrium profile

Юрасов С. Н.¹, Нагаева С. П.¹

Одесский государственный экологический университет

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПЛЯЖА ГОРОДА НИКОЛАЕВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ

Цель. Прогноз состояния пляжа города Николаев, предложение общих мер его защиты от деградации.

Методы. Математической статистики, линейного анализа и математического моделирования, сравнительного анализа, картографических и графоаналитических исследований.

Результаты. Пляж города Николаев является полосой побережья большого водного объекта, где объединились особенности реформирования берегов водоемов и рек. Расположение пляжа на выпуклом берегу Бугского лимана создаёт условия накопления песка за счет vzdol'beregovogo перемещения наносов со стоковым течением. Но, ширина лимана и его глубины благоприятствуют образованию ветрового волнения в секторе Ю-З-С, способного разрушать пляж. На пляже во время прохождения весенних паводков или при сильных сгонно-нагонных явлениях возможно vzdol'beregovoe перемещения песков в больших объемах в зависимости от длительности действия сильного течения, но транспорт наносов вдоль пляжа не влияет существенно на изменения очертаний его берегового склона. Существенное разрушение пляжа может произойти при штормах редкой повторяемости в секторе Ю-З-С. Фронтальные штормы западного направления формируют профиль относительного динамического равновесия и способствуют перемещению песков на глубину. При подходе волн под углом к линии берега происходит vzdol'beregovoye транспорт песков. Защиту пляжа от размыва возможно осуществить с помощью пассивных или активных методов. Дальнейшие исследования будут направлены на количественный анализ сценария перемещения песка вдоль пляжа с его накоплением на выступающей части пляжа (точка С) и смыв накопленного песка на глубину под влиянием западных штормов.

Вывод. Без принятия специальных мер по защите пляж г. Николаев в дальнейшем будет деградировать.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деградация пляжа, режим волнения, параметры волнения, скорость ветра, гранулометрический состав, профиль динамического равновесия

Вступ

Під впливом великої кількості природних і антропогенних чинників в приурезовій 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 привабливість узбережжя. Тому дослідження природних чинників деградації і прогноз стану рекреаційних ділянок узбережжя для запобігання їх негативних змін є актуальним.

Основними природними чинниками, що визначають стан пляжів в перспективі, являються: режими вітрового хвилювання, течії і рівня води; обрис підводної і надводної частин берегового схилу, його висотні відмітки і властивості ґрунтів; vzdol'zberegovoye транспорт наносів. Від цих чинників залежить буде чи ні відбуватися накопичення пляжного матеріалу, стабілізація берегової лінії або деградація пляжу.

Для берегів великих водойм

переважаючими чинниками швидкості абразії є хвилювання й властивості порід, що складають береговий схил. Шторми рідкісної повторюваності, маючи 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 абрису берега відбуваються протягом десятків років [1].

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 дія хвиль. При достатньо широкому пляжі й низькому рівні хвилі можуть не досягати корінного берега. Але, при високому стоянні рівню – хвилі можуть руйнувати його. Крім того, при різному

стоянні рівню і при крутому ухилі берегового схилу може відбуватися його розмив (зниження відміток у смузі дії хвиль) з відступом або з наступом урізу води в залежності від абрису підводної частини цього схилу.

Ухил дна й висотні відмітки підводної частини берегового схилу визначають: скільки енергії загубить хвилювання при обваленні (у прибойній зоні) на підході до урізу води, скільки відбудеться цих обвалень, скільки енергії залишиться у хвиль при їх впливі на берегову смугу. При крутому ухилі втрата енергії хвилюванням на підході до берега мала, відбувається розмив ґрунтів в приурізової смузі й накопичення їх на деякій глибині. В результаті чого формується профіль відносної динамічної рівноваги (ПВДР). Тобто, такий профіль берегового схилу, при якому переміщення ґрунтів на схилі не призводить до зміни його абрису.

Течія, властивості ґрунтів та вздовжбереговий транспорт наносів (за течією) – найважливіші чинники переформування

берегів на річках [2, 3]. На закруті річки за рахунок притиску течії розмивається увігнутий берег, тоді як на протилежному, опуклому березі наноси накопичуються. Відбувається природний процес розвитку меандр.

Пляж міста Миколаїв (АВ на рис. 1) є смугою узбережжя великого водного об'єкту, де об'єдналися особливості переформування берегів водою і річок. Пляж розташовано на опуклому березі Бузького лиману. На перший погляд тут повинне відбуватися накопичування піску за рахунок вздовжберегового переміщення наносів за стоковою течією. Але, ширина лиману 2,5-2,6 км є достатньо великим розгоном для вітрового хвилювання в секторі Пд-З-Пн, а акваторія з переважаючими глибинами 7 м є глибоководням, яке дозволяє сформуватися розвиненому хвилюванню з граничними параметрами на підході до пляжу.

У період штормів вже воно стає переважаючим чинником переформування берегу і вздовжберегового транспорту наносів. Тут при штормах Пд напрямку можливе пе-

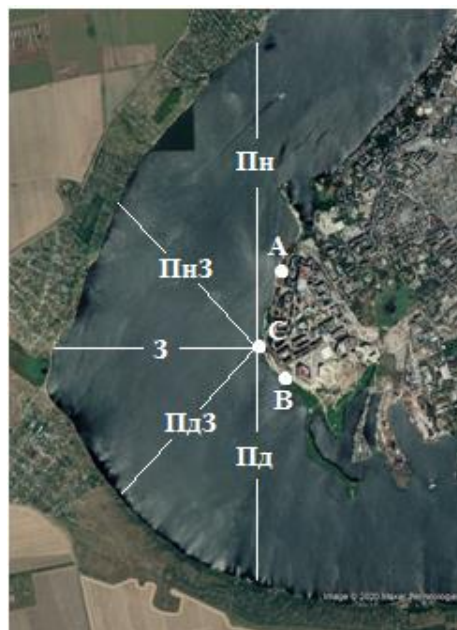
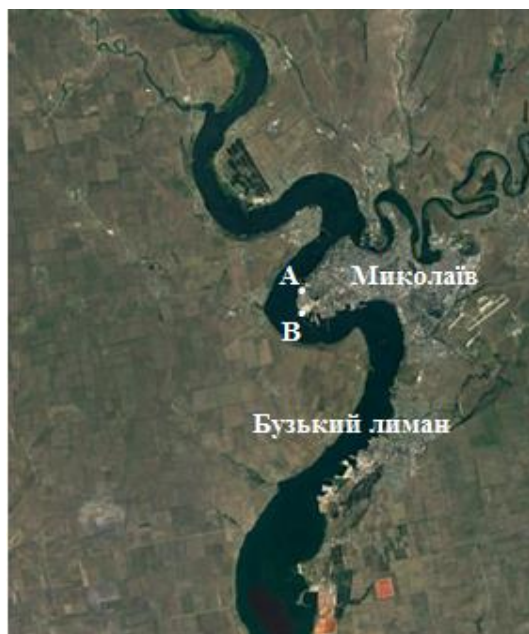


Рис. 1 – Розташування пляжу м. Миколаїв

реміщення піску проти середнього (переважаючого) напрямку стокової течії. Розвиток меандру – тривалий, повільний процес, який може охоплювати десятки і навіть сотні років. На противагу йому штормовий вплив за короткий час може привести до істотного руйнування берега.

Виникає питання – які перетворення можуть відбутися на пляжі в майбутньому, як

можуть змінитися обриси берегового схилу?

Огляд сучасних джерел [1, 4, 5, 6, 7, 8, 9] показав, що в технічній і нормативній літературі містяться: загальні уявлення про абразію берегів і про процеси, що обумовлюють її [1]; аналіз сучасного і ретроспективного стану берегів [4, 5, 6, 7, 8]; методики моделювання впливу природних факторів на береговий схил і оцінки стану цього схилу в майбутньому [8, 9]. 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 природних чинників. Предмет дослідження – вплив природних чинників на стан пляжу.

Мета дослідження – прогноз стану пляжу міста Миколаїв, загальні пропозиції заходів 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 донних наносів, виконати аналіз режиму течії у Бузькому лимані (стокових і при згінно-нагінних явищах);

- розрахувати параметри вітрового хвилювання рідкісної повторюваності і рядових штормів, виконати аналіз режиму рівня води у лимані, 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;

- дати загальні пропозиції захисту пляжу від деградації.

Матеріали і методи дослідження

Інформаційною базою дослідження послужили: технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування, виконані ТОВ «Інженерний центр «Геобест» [10]; 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:

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

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

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 .

Критичні швидкості розмиву розраховані за методикою, викладеною в [11, 12], за

формулою

$$v_{дон} = a(R/d_p)^x [n_y \eta P_s / \rho_s]^{0,5}, \quad (4)$$

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 зважування 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; $\rho_1 = (\rho_s - \rho_w)(1 - n_s)$ – щільність ґрунту зваженого водою (прийнято 561), кг/м³; ρ_s – щільність частинок ґрунту (прийнята 2660), кг/м³; ρ_w – 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 ($d > 0,5\lambda_d$) виконаний за формулами [13, 14]:

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

$$gT_d/V_w = 2\pi * 3,1 (gh_d/V_w^2)^{0,625}, \quad (6)$$

$$\lambda_d = gT_d^2/(2\pi) \quad (7)$$

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:

$$gt/V_w = 16(gL/V_w^2)^{0,785}, \quad (8)$$

$$gL/V_w^2 = [(gt/V_w)/16]^{1,274}, \quad (9)$$

де t – тривалість дії вітру, с.

Висота хвиль розраховується [13, 14] 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 ($0,5\lambda_d \geq d > d_{cr}$), виконаний відповідно до [13, 14] за формулою:

$$h_i = k_r * k_r * k_l * k_i * h_d, \quad (10)$$

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

$$k_r = \{C_N [1 + 4\pi/C_N * d/\lambda_d (sh[4\pi/C_N * d/\lambda_d])^{-1}]\}^{-0,5}, \quad (11)$$

$$C_N = th(2\pi/C_N * d/\lambda_d); \quad (12)$$

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

Глибина першого обвалення хвиль розраховується методом послідовного приближення згідно [14] 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:

$$d_{cr,u} = k_u^{n-1} * d_{cr}, \quad (13)$$

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

Розрахунок припиняється при

$$k_u^{n-2} \geq 0,43 \text{ і } k_u^{n-1} < 0,43 \quad (14)$$

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:

$$\eta/h_i = 2,28 - 1,28(1 + 0,61(d/\lambda_d)^{0,5}). \quad (15)$$

У мілководній зоні розрахунок виконується по співвідношенням [14]:

$$gh/V_w^2 = 0,1(gd/V_w^2)^{0,8}, \quad (16)$$

$$T(d/g)^{-0,5} = 4,6, \quad (17)$$

$$gh/V_w^2 = 0,16\{1 - [1 + 0,006(gL/V_w^2)^{0,5}]^{-2}\} * th[0,625(gd/V_w^2)^{0,8} * \{1 - [1 + 0,006(gL/V_w^2)^{0,5}]^{-2}\}^{-1}], \quad (18)$$

$$gT_d/V_w = 2\pi * 3,1 (gh_d/V_w^2)^{0,625}, \quad (19)$$

$$\lambda_d = gT_d^2/(2\pi). \quad (20)$$

Розрахунок висоти вітрового нагону виконується методом послідовного приближення за формулою [14]

$$\eta_w = k_w V_w L \cos \alpha / (d + \eta_w), \quad (21)$$

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.

Побудова ПВДР виконано згідно [8, 9]. Від урізу води до глибини першого обвалення хвиль профіль описується наступними залежностями:

$$d = AX^{2/3}, \quad (22)$$

$$A = 2,25(W_s^2/g)^{1/3}, \quad (23)$$

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:

$$X_C = (d_{cr}/A)^{3/2}. \quad (24)$$

При $X > X_C$ розрахунок виконується за формулами

$$d = d_{cr1\%} + \exp[a(X - X_C)] - 1; \quad (25)$$

$$a = 2A/(3X^{1/3}). \quad (26)$$

Середній схил $i_{П}$ надводної частини берегового схилу визначається в залежності від d_{50} за табл. 3.6 в [7]. Для пісків пляжу м. Миколаїв $i_{П}$ дорівнює 0,03.

ПВДР 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 [8] встановлено: ділянка, що розглядається – пляж м. Миколаєв уздовж вул. Лазурної довжиною 1,35-1,40 км на узбережжі Бузького лиману (рис. 1). Ширина лиману у місці розташування пляжу 2,5-2,6 км. Переважаючи глибини – 7 м. Стокові течії при весняному водопіллі та вітрові течії при сінно-нагінних явищах одношарові з максимальною швидкістю – 0,7-0,8 м/с.

Для Бузького лиману нагінними є вітри західній, південно-західній, південній та південно-східній чверті, згінними – вітри північній і північно-східній чверті горизонту. Повторюваність вітрів 15 м/с – 6% (для максимальних річних швидкостей вітру це відповідає частоті 1 раз в 16-17 років). Протягом року забезпеченість вітрів з швидкістю більш 10 м/с складає 0,47%, тобто, вітри з такою швидкістю і більше діють протягом 1,5-2,0 діб за рік, при середньої тривалості 12 годин це складає 3-4 рази на рік.

Ймовірність напрямків вітру: Пд – 16%; ПдЗ – 8%; З – 11%; ПнЗ – 13%; Пн – 19%; в секторі Пд-З-Пн – 50% (8+8+11+13+9,5=49,5%). Штилі – 10%. За відрахуванням штилів вітри в секторі Пд-З-Пн діють протягом 164 діб середньостатистичного року.

Рівень 50% забезпеченості з максимальних річних рівнів – «+»0,43 м БС.

Пісок пляжу дрібний, неоднорідний, щільність 1,96 кг/дм³, щільність частинок 2,66 кг/дм³, кут внутрішнього тертя 30°.

Корінний беріг складений супіском – осадовою пухкою породою континентального походження, що легко руйнується водою.

При розрахунках за методиками, викладеними раніше, отримано наступне.

За даними [10] по формулам (1)-(3) апроксимована залежність «діаметр частинок – частковий вміст» ($d_p = 0,0411 \cdot \exp(0,0358P)$) на рис. 2) й визначені характерні діаметри пісків пляжу: $d_{50} = 0,25$ мм, $d_{85} = 0,88$ мм.

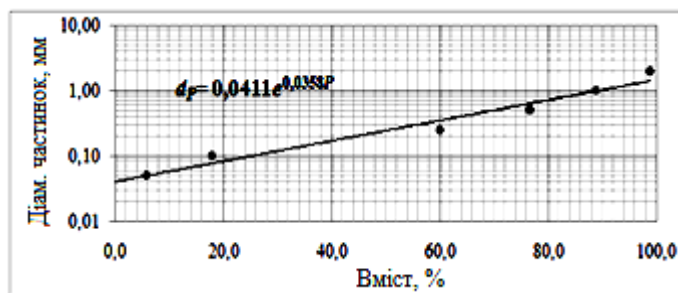


Рис. 2 – Гранулометричний склад пісків пляжу

Показники d_{50} і d_{85} використовують при побудові профілю динамічної рівноваги і при оцінці критичних швидкостей течії, при яких відбувається початок різних способів руху донних наносів.

Розрахунок критичних швидкостей течії для пісків пляжу виконано за формулою (4). Швидкість початку руху частинок пляжного матеріалу (початку руху донних наносів) складає 0,53 м/с, початок руху грядок відбувається при швидкості течії 0,64 м/с, початок змулювання (розмиву донних відкладів) – 0,86 м/с.

У Бузькому лимані стокові течії в період весняної повені або при сильних згінно-нагінних явищах можуть досягати швидкості 0,7-0,8 м/с, що перевищує початок руху пісків на розглядуваній ділянці. Тобто, у ці моменти часу можливе вздовжберегове переміщення пісків у великих обсягах в

залежності від тривалості впливу сильної течії. Але, це не буде причиною швидкого перетворення абриса берегового схилу, якщо не буде перекритий природний вздовжбереговий транспорт наносів.

Дуже важливим фактором формування абриса берегового схилу – є хвилювання.

При підході фронту хвиль під кутом до лінії берегу відбувається вздовжберегове транспортування частинок піску, при фронтальному підході – формується ПВДР. Від співвідношення параметрів вітрового хвилювання з глибиною і від ухилу поверхні схилу залежать об'єми руйнування берегу.

Розрахунок параметрів вітрового хвилювання виконано згідно [13, 14] за формулами (5)-(21). При швидкості вітру 15 м/с отримано:

на глибині 4,5 м і більше параметри

хвиль дорівнюють – середня висота хвиль 0,41 м; середня довжина хвилі 9,1 м; середній період 2,4 с; висота хвиль з забезпеченістю 1% в системі 0,99 м;

на глибині першого обвалення хвиль (1,1 м) – середня висота хвиль 0,36 м; середня довжина хвилі 6,9 м; середній період 2,4 с; висота хвиль з забезпеченістю 1% в системі 0,79 м; перевищення вершини хвилі 1% над рівнем 0,58 м;

ширина нахату хвиль на берег 3,5-4,0 м, висота нахату – 0,22 м;

максимальна придонна швидкість течії (знакозмінна при хвилюванні) більш 2,0 м/с.

При такій швидкості течії відбувається не тільки транспортування наносів, але й розмив донних відкладень (критична швидкість змулювання для пісків пляжу – 0,86 м/с).

На тих ділянках пляжу, де відстань від урізу води до корінного берега (складеного супіском) менш 3,5-4,0 м, початок шторму і руйнування берегу співпадають.

Вітер з швидкістю 10 м/с визиває хвилювання з параметрами:

на глибині 3,2 м і більше середня висота хвиль складає 0,26 м; середня довжина хвилі – 6,4 м; середній період – 2,0 с; висота хвиль з забезпеченістю 1% в системі – 0,63 м;

на глибині першого обвалення (0,77 м) середня висота хвиль – 0,19 м; середня довжина хвилі – 4,7 м; середній період – 2,0 с; висота хвиль з забезпеченістю 1% в системі – 0,45 м;

максимальна придонна швидкість течії – 1,2 м/с (це теж більше швидкості не тільки початку руху частинок піску, але й початку змулювання).

Таким чином, вздовжберегове транспортування наносів можливе не тільки при сильних розрахункових штормах повторюваністю один раз в декілька років (відповідно [9, 13] для пляжу 1 раз у 25 років), але і при рядових штормах з повторюваністю кілька разів на рік.

Абрис ПВДР залежить від характерного діаметру частинок піску d_{50} і глибини першого обвалення хвиль [8, 9] він розраховано за формулами (22)-(26). На рис. 3 побудовано профілі берегового схилу і ПВДР для північної, середньої і південної частин розглядуваного пляжу при стоянні рівня «+»0,43 м БС (відповідно вимогам [9]).

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.

При стоянні рівня на відмітки «+»0,43 м БС шторми західного напрямку з фронтальним підходом хвиль до лінії берега будуть формувати ПВДР зі відступом урізу води: на північному відрізку пляжу (АС на рис. 1) до 10 м (рис. 3а); в середині (точка С на рис. 1) – до 15 м (рис. 3б); на південному відрізку (ВС на рис. 1) через велику крутизну підводної частини берегового схилу (рис. 3в) можливий найбільший розмив берегу до 30-35 м. Об'єми розмиву на різних ділянках пляжу орієнтовно складають 30, 60 і 80 м³/м. В результаті чого буде відбуватися поступове скорочення ширини пляжу. На тих його ділянках, де відстань від існуючого урізу до корінного берега менше вказаних відстаней за вирахуванням ширини нахату хвиль на берег (3,5-4,0 м), після розмиву пляжу почнеться руйнування корінного берега.

При підході фронту хвиль під кутом 45° до лінії берега (рис. 4а) зміни на північному відрізку пляжу не відбуваються, оскільки ПВДР співпадає з профілем берегового схилу. В районі точки С буде спостерігатися розмив піску без відступу урізу води (рис. 4б). І тільки на південному відрізку пляжу буде змиватися пісок з відступом урізу води на відстань до 20 м (рис. 4в).

Деградація пляжу від штормів може бути доповнена ще одним сценарієм. При штормах північного напрямку (рис. 1) на відрізки пляжу АС відбувається переміщення піску на південь і його накопичення на відрізки СВ біля точки С. При штормах південного напрямку картина протилежна: транспорт наносів вздовж ВС і їх накопичення на АС біля точки С. При фронтальних штормах від заходу накопичений пісок буде переміщуватися на глибину. Кількісна оцінка такого сценарію потребує пошуку додаткових даних і являється предметом наступних досліджень.

Спираючись на досвід гідротехнічного проектування [9] можна запропонувати наступні загальні способи запобігання деградації пляжу м. Миколаїв.

Пасивний метод захисту берегового схилу від руйнування полягає в епізодичному відсіпанні піску на пляж у міру його розмиву. Відмітка першого відсіпання залежить від відмітки розрахункового рівню, плюс висота нахату хвиль на берег (для ділянки пляжу – 0,22 м), плюс запас за висотою. При відсіпанні піску горизонтальним шаром від

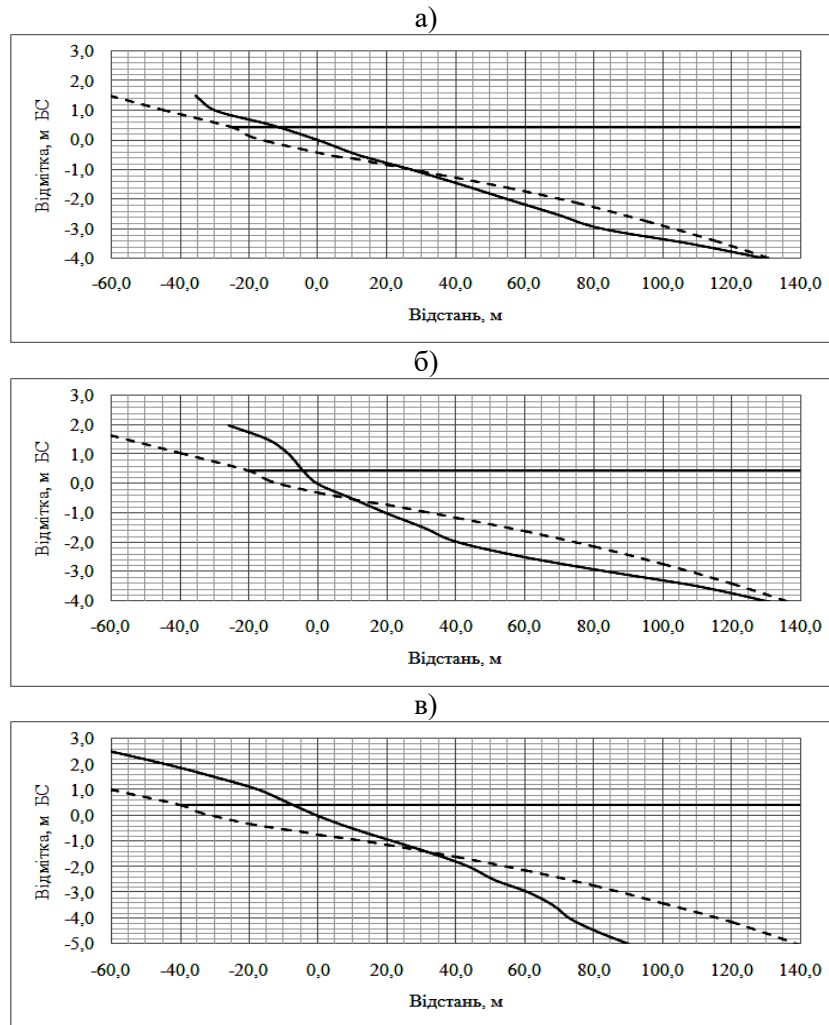


Рис. 3 – Профілі берегового схилу і динамічної рівноваги (пунктир) при рівні – «+»0,43 м БС: а – розріз на північній частині; б – всередині (точка С на рис. 1); в – на південній частині

позначки берегового схилу «+»1,0 м БС на відстань 30-60 м з ухилом в сторону моря рівним куту природного укосу його об'єм орієнтовно буде дорівнювати приблизно 68 тис.м³. Терміни наступних відсипань і їх об'єми встановлюються після геодезичних зйомок.

Активний метод захисту полягає у зведенні проникних бун. Тобто таких бун, які не перешкоджають транспорту наносів на

глибині 1 м. Буни сприяють збільшенню ширини пляжу, за рахунок накопичення піску в міжбунному просторі. Варіант передбачає зведення бун від урізу води до відміток дна 1,0 м. Для захисту корінного берегу необхідно побудувати підпірну стінку. При цьому після сильних штормів західних напрямків необхідні епізодичні досипки піску на пляж.

Висновки

Пляж міста Миколаїв є смугою узбережжя великого водного об'єкту, де об'єдналися особливості переформування берегів водойм і річок. Розташування пляжу на опуклому березі Бузького лиману утворює умови накопичення піску за рахунок вздовжберегового переміщення наносів за стоковою течією. Але, ширина лиману і глибини сприяють утворенню вітрового хвилювання

в секторі Пд-3-Пн, здібного руйнувати пляж.

На пляжі під час проходження весняних повеней або при сильних сгінно-нагінних явищах можливо вздовжберегове переміщення пісків у великих обсягах в залежності від тривалості впливу сильної течії, але транспортування наносів уздовж пляжу не впливає суттєво на зміни абрису його берегового схилу.

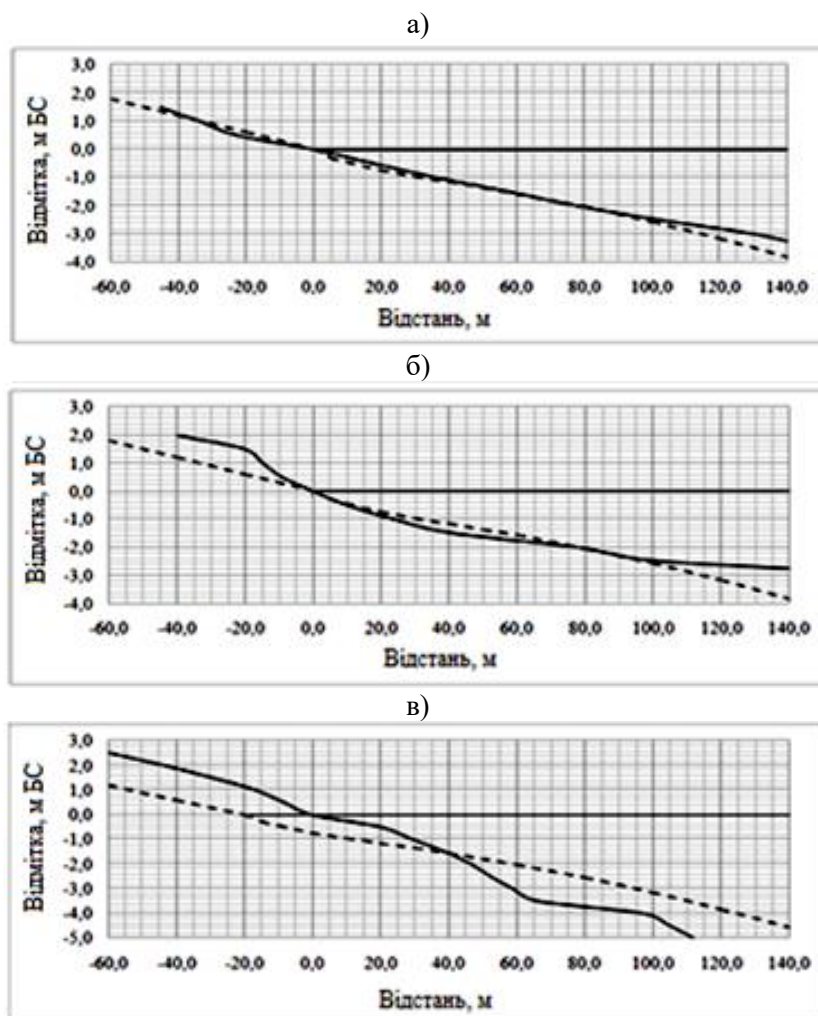


Рис. 4 – Профілі берегового схилу і ПВДР (пунктир) при рівні – 0.0 м БС й косому підході хвиль:
а – розріз на північній частині; б – всередині (точка С на рис. 1); в – на південній частині

Суттєве руйнування пляжу може відбуватися від штормів рідкісної повторюваності в секторі Пд-З-Пн. При стоянній рівню на відмітці «+» 0,43 м БС в період шторму можливе поступове відступання урізу води від 10 м (на північному відрізку пляжу) до 30 м (на південному). Об'єми змиву піску орієнтовно складуть від 30 до 80 м³/м.

Захист пляжу від розмиву можливо здійснити за допомогою пасивних або активних методів. Пасивний метод потребує епізодичного відсипання піску на пляж. Перше відсипання можна виконати горизонтальним шаром з відміткою верха «+» 1,0 м БС і шириною 30-60 м. У такому випадку необхідний об'єм піску складе приблизно 68 тис.м³.

Варіантом активного методу захисту може бути зведення на пляжі прониких бун, які не будуть перешкоджати вздовжбереговому переміщенню піску на глибинах більш 1 м. Буни будуть сприяти накопиченню піску в межбуновому просторі. Для захисту корінного берегу необхідно побудувати підпірну стінку. При цьому після сильних штормів західних напрямків необхідні епізодичні досипки піску на пляж.

Подальші дослідження будуть спрямовані на кількісний аналіз сценарію переміщення піску уздовж пляжу з його накопиченням на виступаючій частині пляжу (точка С) і змиву накопиченого піску на глибину під впливом західних штормів.

Конфлікт інтересів

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

Література

1. Фокина Н.А. Природные факторы процессов абразии. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/15100/6-Fokina.pdf>. (дата звернення 02.12.2020 р.)
2. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 311 с. URL: <http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/grishanin.pdf>. (дата звернення 20.10.2020).
3. Барышников Н.Б. Гидравлическое сопротивление речных русел. Учебное пособие. Санкт-Петербург: изд. РГГМУ, 2003. 147 с. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-504160857.pdf/. (дата звернення 20.10.2020).
4. 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>. (дата звернення 20.10.2020).
5. 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%3D0134e884efae48a53203ad479588edc58d86e3d58408f6a8fb935a53a61c370b7badade-fac467661908920afd9b8c6cf089ceb4a31db14aa4aaffe008fd6fc30IJ/GIaMoGEfa0onrl7wu-calt84ta/CIRzs1YPkJOwZzYJKX3QGg+6xrJ4LRHPj>. (дата звернення 20.10.2020).
6. Вербицкий Ю.С., Ямских Г.Ю. Изменения прибрежной зоны Красноярского водохранилища в районе посёлка Приморское. *Вестник кемеровского государственного университета*. №1(61), Т2. 2015. с. 78-83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-pribrezhnoy-zony-krasnoyarskogo-vodohranilischa-v-rayone-poselka-primorskoe/viewer>. (дата звернення 19.10.2020).
7. Игнатов Е.И., Землянов И.В., Санин А.Ю., Борщенко Е. В., Терский П. Н. Применение расчётных методов для изучения динамики берегов Онежского озера и их развития. *Труды Карельского научного центра РАН*. № 3. 2018, 84-93. URL: <https://www.researchgate.net/publication/325203336>. (дата звернення 20.10.2020).
8. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001. 272 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/2166978/>. (дата звернення 19.10.2020).
9. СП 277.1325800.2016. Свод правил. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. Утверждён приказом Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 963 пр от 16.12.2016. Москва: АО «НИИ транспортного строительства». 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456055940>. (дата звернення 20.10.2020).
10. Технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування на об'єкті: «Нове будівництво берегоукріплювальної споруди вздовж вул. Лазурної у м. Миколаєві». 1509/737. Дніпро: Виконавець: ТОВ «Інженерний центр «Геобест». Замовник: ТОВ «Альфа Форамен», 2019. 69 с.
11. Рекомендации по проектированию самопромывающихся ковшей у затопленных водоприёмников. Москва: изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1984. 121 с. URL: <https://pdf.standartgost.ru/catalog/Data2/1/4293764/4293764750.pdf>. (дата звернення 20.10.2020).
12. ТКП 45-4.01-198-2010 (02250). Водозаборные сооружения из поверхностных источников. Правила проектирования. Минск: МАСРБ, 2011. 79 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/2153721/>. (дата звернення 20.10.2020).
13. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)/Госстрой СССР. Москва: Стройиздат, 1983. 39 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200000256>. (дата звернення 20.10.2020).
14. 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/>. (дата звернення 20.10.2020).

References

1. Fokina N.A. Natural factors of abrasion processes. Retrieved 2020, September 21 from <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/15100/6-Fokina.pdf>. (In Russian).
2. Grishanin K.V. (1979). *Channel flow dynamics*. Leningrad: Hydrometeorological Publ. Retrieved from <http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/grishanin.pdf> (In Russian).
3. Baryshnikov N.B. (2003). *Hydraulic resistance of river channels. Tutorial*. St. Petersburg: Publ. RGGMU. Retrieved from http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-504160857.pdf/ (In Russian).
4. Vyhovanec G.V., Murkalov A.B., Stojan A.A. (2014). Dynamic dimensional stability of sandy beaches. *ONU Bulletin. Series: Geographical and geological sciences*, 19(1), 53-68. Retrieved from

- <https://elibrary.ru/item.asp?id=23918651> (In Russian).
5. Vykhoanets G.V., Pankratenkova D.O. (2018). The influence of the anthropogenic factor on the current state of accumulative landforms in the North-Western part of the Black Sea. *ONU Bulletin. Series: Geographical and geological sciences*, 23(1), 11-31. Retrieved from <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://vdocuments.mx/google-reader?url%3D0134e884efae48a53203ad479588edc58d86e3d58408f6a8fb935a53a61c370b7badade-facf467661908920afd9b8c6cf089ceb4a31db14aa4aaffe008fd6fc3OIJ/GIaMoGEfa0onrl7wu-calIt84ta/CIRzs1YPkJOwZzYJKX3QGg+6xrJ4LRHPj> (In Russian).
 6. Verbitsky Yu.S., Yamskikh G.Yu. (2015). Changes in the coastal zone of the Krasnoyarsk reservoir in the area of the village of Primorskoe. *Bulletin of the Kemerovo State University*, 2(61), 78-83. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-pribrezhnoy-zony-krasnoyarskogo-vodohranilischa-v-rayone-poselka-primorskoe/viewer> (In Russian).
 7. Ignatov, E.I., Zemlyanov, I.V., Sanin A.Ju., Borshchenko E. V. & Tersky P.N. (2018). Application of computational methods to study the dynamics of the shores of Lake Onega and their development. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, (3), 84-93. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/325203336> (In Russian).
 8. Leont'ev, I.O. (2001). *Coastal dynamics: waves, currents, sediment flows*. Moscow: GEOS Publ. Retrieved from <https://www.twirpx.com/file/2166978/> (In Russian).
 9. Ministry of Construction and Housing of the Russian Federation. (2017). *SP 277.1325800.2016: Set of rules. Marine coastal protection structures. Design rules*. Retrieved from: <http://docs.cntd.ru/document/456055940> (In Russian).
 10. TOV «Inzhenernyi tsentr «Heobest». (2019). *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"». Dnipro. (In Ukrainian).*
 11. All-union scientific and research institute of water supply, sewerage, hydraulic facilities and engineering hydrogeology (VNII VODGEO) Gosstroy of the USSR. (1984). *Recommendations for the design of self-cleaning buckets near flooded water intakes*. Moscow. Retrieved from <https://pdf.standartgost.ru/catalog/Data2/1/4293764/4293764750.pdf> (In Russian).
 12. Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus (2011). *Technical Code of Practice: 45-4.01-198-2010 (02250): Intake structures from surface sources. Design rules*. Minsk. Retrieved from <https://www.twirpx.com/file/2153721/> (In Russian).
 13. Gosstroy of the USSR (1983). *Building regulations: 2.06.04-82*: Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships)*. Moscow. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200000256> (In Russian).
 14. Lappo, D.D., Strekalov, S.S. & Zav'jalov V.K. (1990). *Loads and effects of wind waves on hydraulic structures. Theory. Engineering Methods*. Leningrad: VNIIG them B.E.Vedeneeva Publ. Retrieved from <https://www.twirpx.com/file/1461764/> (In Russian).

Надійшла: 20.10.2020

Прийнято: 27.11.2020