

УДК 519.2:[911.2+504] (075.8)

Самойленко В.М.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОЕЛЕМЕНТІВ СТАНУ І СУХОДІЛЬНИХ МЕЖ
ХВИЛЕПРИБІЙНОГО ТА ПРИБЕРЕЖНОГО МЕЗОГЕОТОНІВ
БЕРЕГОВОЇ ЗОНИ ВОДОСХОВИЩ**

Ключові слова: берегова зона, водосховище, мезогеотон, берегові межі, геоелементи стану, моделювання

Стан проблеми. Дана стаття продовжує тематику низки наших публікацій [1–7, 13], в яких викладаються засади модельної ідентифікації геосистем берегової зони великих рівнинних водосховищ для оптимізації природокористування, водо- і берегоохоронних рішень в цій зоні та поліпшення її стану. При цьому, як зазначалось у [13], найбільш складним для моделювання компонентом берегової зони як макрогеотону є його мезополе еволюційного структуроутворення, яке реалізується передусім у хвилеприбійному та прибережному мезогеотонах. Важлива теоретично-прикладна задача моделювання акваторійної берегової каркасної межі хвилеприбійного мезогеотону була вирішена у [13]. А от у цій праці розглядається комплекс задач, який стосується вже моделювання репрезентативних геоелементів стану і суходільних меж хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів, зважаючи і на їхню хоричну структуру та особливості динаміки та стійкості з урахуванням стадіальності розвитку берегової зони та її складників, чому і присвячене дане дослідження, основні побудови та модельні здобутки якого викладаються далі.

Основні результати. Вирішення комплексу задач моделювання репрезентативних геоелементів стану та суходільних меж хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів було спрямоване насамперед на розрахунково-прогнозне моделювання таких геоелементів, як **основні морфометричні характеристики (елементи) профілю берега** у зазначених мезогеотонах озерної області водосховища, а саме (рис. 1–2):

1) *геоелементів стану забережного укусу*, який згідно з вже викладеними підходами [5–7] можна кваліфікувати як аква-теральний береговий ландшафтний ярус, що складається, як мінімум, з двох берегових ландшафтних смуг – надводно-укісної та підводно-укісної (у підводній частині укусу смуг може бути і більше, наприклад за рахунок наявності/відсутності макрофітів тощо). За таких умов визначальними є наступні характеристики:

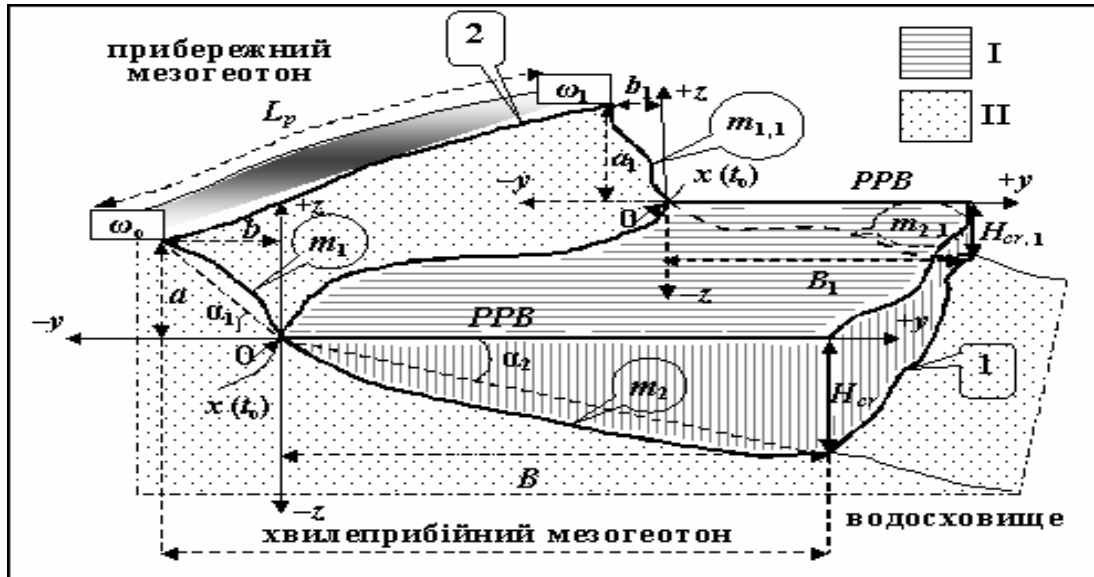


Рис.1. Геоеlementи стану забережного укосу (I – гідрогенний модуль; II – морфоседиментогенний модуль; 1 – квазілінійна внутрішня межа укосу та хвильприбійного мезогейтону; 2 – квазілінійна зовнішня межа укосу та внутрішня межа прибережного мезогейтону; L_p – вздовжберегова довжина ділянки між профілями берега (ω_0, ω_1 – елементарні результати дослід, див. [2]); інші позначення – за текстом)

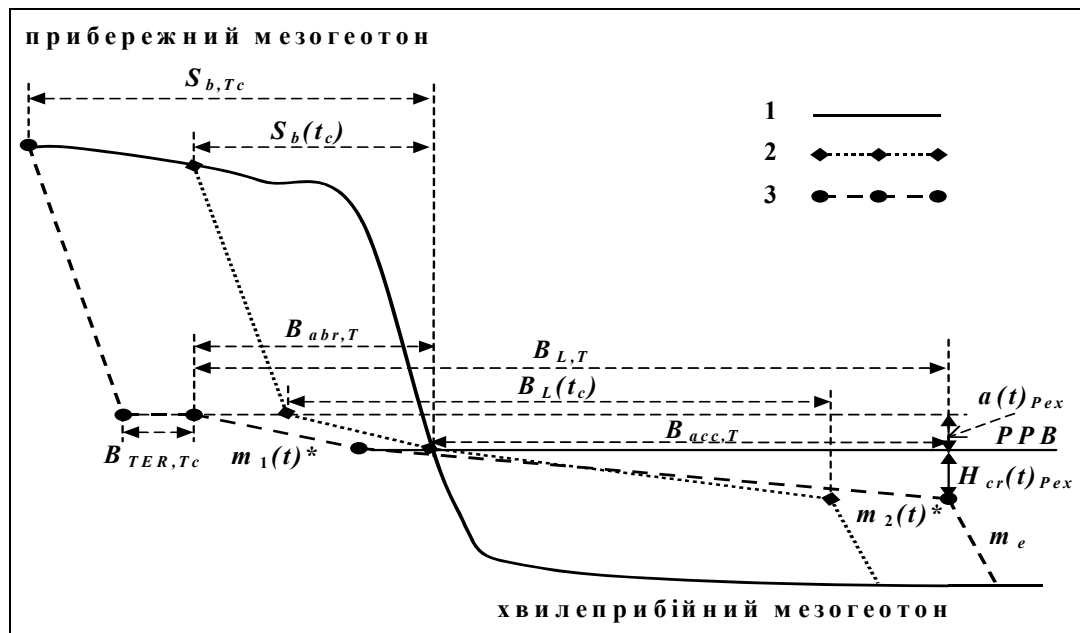


Рис.2. Геоеlementи стану забережного укосу та власне берега на розрахунково-прогнозованому середньому профілі їхнього формування (на прикладі абразійного незсувного приглубого берега) (1 – початковий профіль; 2 – профіль на момент часу t_c ; 3 – профіль на стадії, близькій до стадії динамічної рівноваги; інші позначення – за текстом)

– коефіцієнт підводного укосу (m_2) (як котангенс відповідного кута α_1 , див. рис.1) та глибина на зовнішньому краї укосу (H_{cr}) (адекватна критичній глибині першообрушувальних хвиль), про які вже йшла мова у [13], а також ширина підводної частини укосу (B) із загальним вихідним співвідношенням $m_2 = dB/dH_{cr}$;

– коефіцієнт підводного укосу (як котангенс відповідного кута α_2 , рис.1) (m_1), висота (a) та ширина (b) надводної частини укосу із загальним вихідним співвідношенням $m_1 = db/da$.

Крім того, оперують і з параметром загальної ширини забережного укосу (B_L) та іншими допоміжними та супутніми показниками, розкритими далі за текстом (зокрема із шириною абразійної, B_{abr} , та акумулятивної, B_{acc} , частин укосу);

2) *геоелемента стану прибережного мезогеотону*, а саме (передусім для берегів абразійної групи) т.зв. лінійний відступ бровки берегового уступу або власне берега, який скорочено як параметр будемо називати *лінійне руйнування берега* (S_b) (див. рис.2), певне змодельоване значення якого визначатиме загальну ширину прибережного мезогеотону [1, 7].

Щойно наведені геоеlementи стану, крім іншого, маркують положення, зважаючи на стадіальність формування складників мезополя еволюційного структуроутворення берегової зони [7] та просторово-часову варіабельність, і низки **берегових каркасних меж**, а саме позицію (рис.1-2):

– модельно-розрахункової квазілінійної внутрішньої межі забережного укосу (і досить часто хвилеприбійного мезогеотону у цілому) як квазілінійного компонента мікрогеотонної першообрушувальної укісної межі [13] – її усередненої чи модельно-розрахункової (енергетично-еквівалентної) межі (за геоеlementами H_{cr} , B і m_2);

– модельно-розрахункової квазілінійної зовнішньої (суходільної) межі забережного укосу, яка одночасно може правити за таку ж внутрішню (акваторійну) межу прибережного мезогеотону (за геоеlementами a , b і m_1);

– модельно-розрахункової квазілінійної зовнішньої (суходільної) межі прибережного мезогеотону, зважаючи на особливості його структуроутворення (за геоеlementом S_b).

За таких умов для подальших побудов скористаємось розробленим у наших працях (узагальнення у [2, 3] тощо) загальним розрахунковим виглядом екостохастичних моделей геоеlementів стану берегової зони, який стосовно досліджуваних тут геоеlementів передбачає застосування **двох** підрівнів екостохастичних моделей:

1) *режимного підрівня*, тобто моделей розрахункових елементів (геоеlementів стану) середнього профілю гідродинамічно (або морфостохастично) однорідної вздовж берега ділянки (див. далі) забережного укосу

$$EL_{03,n}(t)_{Pex} = EL_{03,n}(t) * \{ \{ C_v(EL_{03,n}(Reg)) \} \cdot \{ y_{el} \} \cdot \{ -lg P_{ex}(EL_{03,n}(t)) \} \}^{1/Z_{el}} - D_{el} \} + 1 \} \} = EL_{03,n}(t) * \{ C_v(EL_{03,n}(Reg)) \cdot \Phi(EL_{03,n}(t))_{Pex} + 1 \}, \quad (1)$$

де $EL_{03,n}(t)_{Pex}$ – розрахункова величина елемента середнього профілю укосу розрахункової режимної ймовірності перевищення; $EL_{03,n}(t)^*$ – середнє детерміноване значення елемента, визначення ймовірності перевищення якого має свої особливості для деяких елементів; $C_v(EL_{03,n}(Reg))$ – значення функції коефіцієнта варіації елемента в режимі, визначається як середнє з часових коефіцієнтів варіації на профілях певної ділянки ($\omega_0, \omega_1 \dots$) або

приймається, виходячи з особливостей динаміки хвилеприбійного мезогеотону та граничних або середніх значень коефіцієнта варіації за розподілом певного елемента; $\Phi(EJ_{03,n}(t))_{Pex}$ – розрахунковий унормований квантиль елемента, який визначається ймовірністю перевищення розрахункового шторму; y_{el} , Z_{el} та D_{el} – відповідні певному елементу коефіцієнти моделей;

2) *системного підрівня*, тобто моделей параметричних збурень досліджуваних геоелементів стану вже не тільки укусу, а й власне берега (берегового уступу) вздовж берегової лінії навколо розрахункових значень її середнього профілю

$$EJ_{03,n}(R)_{Pex} = EJ_{03,n}(t)_{Pex} \cdot \left\{ \left\{ C_v(EJ_{03,n}(R,t)) \cdot \left\{ y_{el} \cdot \left[-lg \frac{P_{ex}(EJ_{03,n}(R))^{1/Z_{el}} - D_{el}}{P_{ex}(EJ_{03,n}(R))} + 1 \right] \right\} \right\} \right\} = EJ_{03,n}(t)_{Pex} \cdot \left\{ C_v(EJ_{03,n}(R,t)) \cdot \Phi(EJ_{03,n}(R))_{Pex} + 1 \right\}, \quad (2)$$

де $EJ_{03,n}(R)_{Pex}$ – значення елемента профілю укусу чи власне берега вимогової ймовірності перевищення (у т.ч. ймовірності перевищення екстремальних стійких параметрів [3] "в системі" – вздовж берегової лінії); $C_v(EJ_{03,n}(R,t))$ – розрахункове значення функції коефіцієнта варіації певного елемента вздовж берегової лінії; $\Phi(EJ_{03,n}(R))_{Pex}$ – "системний" розрахунковий унормований квантиль елемента.

Коефіцієнти екостохастичних моделей (1)-(2) було отримано у [3] при дослідженні відповідних екостохастичних функцій (функцій розподілу) і такі коефіцієнти, а також максимальні значення відповідних функцій коефіцієнтів варіації, наводяться в табл.1.

Таблиця 1. Коефіцієнти екостохастичних моделей (1)-(2) для досліджуваних геоелементів стану хвилеприбійного і прибережного мезогеотонів та варіабельність цих геоелементів

Геоелемент стану	y_{el}	Z_{el}	D_{el}	$C_v(EJ_{03,n}(Reg,R,t))_{max}$
<i>a</i>	5,63	5,00	4,37	0,23
<i>b</i>	3,68	2,50	2,34	0,43
<i>m₁</i>	2,68	1,(33)	1,32	0,77
<i>H_{cr}</i>	4,89	4,00	3,57	0,28
<i>B</i>	4,04	3,00	2,76	0,36
<i>m₂</i>	3,29	2,00	1,92	0,52
<i>S_b</i>	4,55	3,60	3,23	0,31

У залежності від складу модельних завдань загалом можна використовувати різні комбінації екостохастичних моделей досліджуваних елементів профілю хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів. Для *рівновагового стану* зазначених мезогеотонів робочими є обидві моделі [(1) та (2)] і виникає потреба визначення середніх детермінованих ($EJ_{03,n}(t)^*$) та розрахункових значень ($EJ_{03,n}(t)_{Pex}$) середнього профілю гідродинамічно однорідної ділянки забережного укусу (розрахункового профілю його рівноваги, рис.3). Така **перша задача** має вирішуватися шляхом розробки т.зв. **гідроморфостохастичних моделей** [11, 3] забережного укусу. Для

періоду односпрямованої тенденції у динаміці укосу та власне берега робочою є модель (2), у яку $EЛ_{03,n}(t)_{Pex}$ вводяться як змінна величина часових прогнозувальних залежностей (досліджених, наприклад, у [3, 10, 11] і далі за текстом як друга задача), яка має межею значення $EЛ_{03,n}(t)_{Pex}$ рівновагового стану.

Таким чином, вирішення першої задачі – створення гідроморфостохастичних моделей забережного укосу – базувалося на таких засновках:

1) слід дотримуватися принципу суперпозиції [2, 7, 13], тобто одночасної паритетної взаємодії та взаємовпливу показників гідрогенного модуля хвилеприбійного мезогеотону та параметрів його морфоседиментогенного модуля, які відображають стан поверхні динамічної системи забережного укосу, її рельєф, шорсткість, мобільність переформування при русі наносопотоків та здатність до саморегуляції як умови дисипації енергії хвильових рухів і течій у контактному середовищі щойно зазначених модулів. При цьому в процесі такої саморегуляції, особливо у штормових періодах, параметри динаміки та мінливості форми поверхні укосу (його геоелементи стану) мають не меншу "вагу", ніж показники гідрогенного модуля, зміна яких у хвилеприбійному мезогеотоні являє собою єдиний процес із адекватною зміною рухомої укісної поверхні;

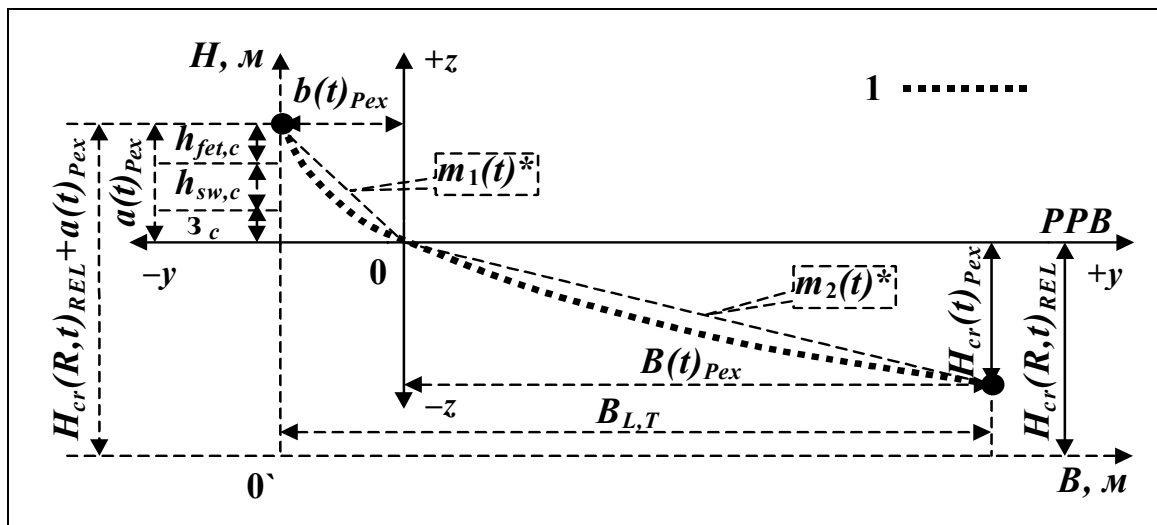


Рис.3. Схема визначення параметрів розрахункового профілю рівноваги забережного укосу (1 – профіль за моделлю (34); позначення – за текстом)

2) кожна змінна чи коефіцієнт гідроморфостохастичних моделей мають відповідати основним показникам динаміки гідрогенного і морфоседиментогенного модулів, у т.ч. стохастичним, і мати визначений фізичний чи стохастичний зміст, а не значення "суто" емпіричного показника, що досі було в основному загальноприйнятим [9];

3) необхідним є врахування ймовірностей перевищення власне $EЛ_{03,n}(t)^*$ та $EЛ_{03,n}(t)_{Pex}$ та ймовірностей їхнього спільного сполучення на усередненому профілі забережного укосу.

З огляду на таке, структуру гідроморфостохастичних моделей було приведено до єдиних розрахункових параметрів, а саме: функції середнього

коефіцієнта підводного укосу ($m_2(t)^*$); розрахункового значення критичної глибини $H_{cr,c} \equiv H_{cr}(t)_{Pex}$ заданої та обумовленої P_{ex} (капітальності) – $H_{cr}(R,t)_{REL}$; розрахункового значення висоти надводної частини укосу $a(t)_{Pex}$ та значень сукупності функцій різних коефіцієнтів варіації $C_v(EL_{03,n}(Reg,R,t)$ (див. рис.3).

1. Обґрунтування моделі середнього коефіцієнта підводного укосу як геоелемента стану хвилеприбійного мезогеотону (нагадаємо, що за [11] $m_2(t)^* \equiv m_2(t)_{Pex}$) проводилося на основі отриманого, виходячи з принципів розмірності та домінуючої факторної зумовленості, співвідношення

$$m_2(t)^* = f \{ (\lambda_{dw}^*/d^*)^{C_v,hdw \cdot C_v(m_2(t))}; (h_{cr,c} \cdot \cos\theta_{cr}^*/d^*)^{C_v(m_2(t))}; C_v(m_2/h_{dw}); m_e \}, \quad (3)$$

де: а) $(\lambda_{dw}^*/d^*)^{C_v,hdw \cdot C_v(m_2(t))}$ – комплексний параметр, що відображає періодичність надходження енергії хвиль з глибоководдя у хвилеприбійний мезогеотон та впливає також на довжину шляху руйнування (на поперечному до берегової лінії профілі) розрахункових глибоководних хвиль з середньою висотою h_{dw}^* (λ_{dw}^* – середня довжина h_{dw}^*) на укосі, що складений матеріалом з середньовиваженим діаметром d^* , з урахуванням мінливості глибоководних h_{dw} ($C_{v,hdw}$ – коефіцієнт варіації h_{dw} в системі) та підводної поверхні укосу ($C_v(m_2(t))$ – функція коефіцієнта варіації m_2 на гідродинамічно однорідній ділянці забережного укосу, див. далі), які визначають інтенсивність процесу дисипації хвиле-енергетичного потоку;

б) $(h_{cr,c} \cdot \cos\theta_{cr}^*/d^*)^{C_v(m_2(t))}$ – комплексна характеристика величини надходження енергії хвиль на вхід системи морфоседиментогенного модуля укосу (акваторійну кордонну межу першообрушувальної межі, див. рис.1 у [13]) з урахуванням кута підходу цих хвиль ($\cos\theta_{cr}^*$), стану і рухливості седиментаційного матеріалу (d^*) і "підготовленості" його поверхні (тобто поверхні укосу) до дисипації хвильової енергії (показник степені $C_v(m_2(t))$ як параметр інтенсивності процесу дисипації: його збільшення, тобто більш велика різноманітність, "горбкуватість" підводної поверхні укосу, сприяє більш швидкій втраті енергії з боку акваторійного обрушування хвиль та загальному збільшенню положистості профілю укосу за рахунок більш інтенсивного поперечного до берега та вздовжберегового руху наносів у різному вигляді, у т.ч. у вигляді вторинних берегових акумулятивних форм тощо);

в) m_e – коефіцієнт природного похилу матеріалу морфоседиментогенного модуля у спокійній (без хвилювання) воді як традиційний параметр рухливості цього матеріалу при дії на нього хвиль, що обрушуються;

г) $C_v(m_2/h_{dw})$ – запроваджена нами *функція коефіцієнта гідроморфометричної мінливості*, який характеризує взаємовідношення та варіант домінування мінливості підводної поверхні забережного укосу (тобто параметрів морфоседиментогенного модуля) та мінливості хвиль, що надходять до нього з глибокої води (тобто параметрів гідрогенного модуля). Подальші експериментальні дослідження [11] дали змогу встановити, що $C_v(m_2/h_{dw})$ визначається в залежності від значень розробленого нами *гідроморфометричного критерію*

$$V_{m,h} = h_{cr,c} / \lambda_{dw}^* \cdot C_{v,hdw} \cdot C_v(m_2(t)). \quad (4)$$

При $V_{m,h} \geq C_{v,hdw}$ мінливості параметрів морфоседиментогенного та гідрогенного модулів мають рівну вагу і $C_v(m_2/h_{dw}) = C_v(m_2(t)/C_{v,hdw})$; при $V_{m,h} < C_{v,hdw}$ – домінує варіабельність параметрів поверхні укусу і $C_v(m_2/h_{dw}) = C_v(m_2(t))$. Гарною ілюстрацією щойно наведеного може бути також інша інтерпретація залежності (3), якщо розподілити її параметри згідно з їхнім "генезисом". Тоді у прямому зв'язку з $m_2(t)^*$ будуть параметри гідрогенного модуля, а у оберненому – інші параметри морфоседиментогенного модуля (з урахуванням в обох групах імовірнісних показників протилежної групи та значень критерію $V_{m,h}$), тобто

$$f \{ \lambda_{dw}^* \cdot C_{v,hdw} \cdot C_v(m_2(t)); (h_{cr,c} \cdot \cos \theta_{cr})^{C_v(m_2(t))}; C_{v,hdw} \} = \{ m_2(t)^*; m_e; d^* \cdot C_v(m_2(t)) \cdot (C_{v,hdw} + 1) \}. \quad (5)$$

Згідно з проведеним вище аналізом та зазначеним принципом суперпозиції вресні решт і було побудовано *гідроморфостохастичну розрахункову модель* детермінованого *середнього значення похилу підводної частини бережного укусу* як геоелемента стану $m_2(t)^*$ динамічно рівновагової ділянки цього укусу у вигляді

$$m_2(t)^* = \{ (\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_{v,hdw}} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos \theta_{cr} / d^* \}^{C_v(m_2(t))} / \{ m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw}) \}. \quad (6)$$

2. За вихідні для створення моделі глибини на зовнішньому краї бережного укусу (критичної глибини) $H_{cr}(t)_{Pex}$ динамічно рівновагового його профілю правили складники та рівні розробленої нами схеми-моделі першообрушувальної укісної межі (див. [13]) та модель (6).

Згідно з позиціями перших двох рівнів щойно зазначеної схеми-моделі можна записати застосовні для практичних розрахунків (див. [13]) генералізован

і розрахункові співвідношення для $H_{cr}(t)_{Pex}$, а саме

$$H_{cr}(t)_{Pex} = 1,45 h_{cr,c} = 1,45 H_{cr}(t)^*, \quad (7)$$

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{ C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} + 1 \} \cdot h_{cr,c}, \quad (8)$$

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{ \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} \cdot C_v(H_{cr}(l))_{\max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^* + 1 \} \cdot h_{cr,c}. \quad (9)$$

Для більш детальних оцінок особливостей формування $H_{cr}(t)_{Pex}$ з урахуванням основних чинників гідрогенного та морфоседиментогенного модуля укусу, підставимо у (9) значення $h_{cr,c}$, отримане з моделі $m_2(t)^*$ (6) і, зважаючи на превалююче використання $C_v(m_2(t))^*$ та можливість заміни змінної $C_v(H_{cr}(t))^* \cdot H_{cr}(t)^* / (C_{v,hdw} \cdot H_{cr}(t)_{Mo}) \approx C_v(m_2(t))^*$, отримуємо наступний розрахунковий вигляд моделі

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{ \Phi(H_{cr}(l))_{5\%} \cdot C_v(H_{cr}(l))_{\max} \cdot C_v(m_2(t)) / C_v(m_2(t))^* + 1 \} \times \\ \times \{ m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw}) \}^{C_{v,hdw} \cdot H_{cr}(t)_{Mo} / C_v(H_{cr}(t))^* \cdot H_{cr}(t)^*} / \\ / \{ (\lambda_{dw}^* / d^*)^{C_{v,hdw}} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos \theta_{cr} / d^* \}, \quad (10)$$

де $H_{cr}(t)_{Mo}$ – найбільш імовірне значення $H_{cr}(t)_{Pex}$.

Модель $H_{cr}(t)_{Pex}$ має і декілька інших модифікацій. Так, згідно з (8) та при надійно визначеному фактичному значенні $C_v(m_2(t))$ можна записати, що

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))^{5\%+1}\} \cdot \{m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}^{1/C_v(m_2(t))} / \{(\lambda_{dw}^*/d^*)^{C_v,hdw} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos\theta_{cr}/d^*\}. \quad (11)$$

А розкриваючи функціональний запис показника степені у (10), отримаємо (зважаючи на (8) у [13]), що

$$C_{v,hdw} \cdot H_{cr}(t)_{Mo} / \{C_v(H_{cr}(t))^* \cdot H_{cr}(t)^*\} \approx h_c^{**} / \sigma(H_{cr}(t)) = h_c^* \cdot K_{cr,e} / \sigma(H_{cr}(t)). \quad (12)$$

Останнє перетворення уявляється досить вдалим, позаяк розрахункові h_c^* і $K_{cr,e}$ можна визначити за документами, що використовуються в практиці розрахунків [9, 12 тощо], при цьому розрахунковий індекс першообрушування – і за запропонованою нами методикою [13], а $\sigma(H_{cr}(t))$ як стандарт критичної глибини – згідно з положеннями [11, 2], як на основі натурних даних, так і аналітично. У цьому випадку модель $H_{cr}(t)_{Pex}$ запишеться

$$H_{cr}(t)_{Pex} = \{C_v(H_{cr}(l)) \cdot \Phi(H_{cr}(l))^{5\%+1}\} \times \{m_2(t)^* \cdot m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}^{h_c^{**} \cdot K_{cr,e} / \sigma(H_{cr}(t))} / \{(\lambda_{dw}^*/d^*)^{C_v,hdw} \cdot h_{cr,c} \cdot \cos\theta_{cr}/d^*\}. \quad (13)$$

З іншого боку, виходячи з (11) та (12),

$$1/C_v(m_2(t)) = h_c^* \cdot K_{cr,e} / \sigma(H_{cr}(t)), \quad (14)$$

або

$$\sigma(H_{cr}(t)) / C_v(m_2(t)) = h_c^* \cdot K_{cr,e} = h_c^{**}. \quad (15)$$

Продовжуючи ланцюжок залежностей (15) за будь-яким рівнем схеми-моделі, наведеній у нашій праці [13], можна визначити середні розрахункові (в т.ч. багаторічні) показники висот хвиль та їх систем у першообрушувальній укїсній межі (тобто параметри гідрогенного модуля хвилеприбїйного мезогеотону) за надійно визначеними (в т.ч. багаторічними) показниками мінливості морфоседиментогенного модуля цього мезогеотону.

Похідною від щойно наведених моделей $m_2(t)^*$ і $H_{cr}(t)_{Pex}$ виступає модель середньої ширини підводної частини укусу ($B(t)^*$), яку можна записати у вигляді

$$B(t)^* = \{(\lambda_{dw}^*/d^*)^{C_v,hdw} \cdot h_{cr,c}^{1/C_v(m_2(t))+1} \cdot \cos\theta_{cr}/d^*\}^{C_v(m_2(t))} / \{m_e \cdot C_v(m_2/h_{dw})\}. \quad (16)$$

3. Усі модельні рішення, що наводяться у цій статті, як правило (див. попередній текст), стосуються вже згаданої **однорідної (вздовж берега) ділянки забережного укусу**, як і хвилеприбїйного мезогеотону у цілому. Критерії вирізнення цих однорідних ділянок були розроблені і перевірені нами на натурних даних із задовільним результатом (див. [11, 10, 3, 2] тощо) для **двох рівнів**:

1) морфостохастичні критерії однорідності ділянки забережного укусу (як морфоседиментогенного модуля хвилеприбійного мезогеотону), які характеризують відповідність ділянки укусу динамічній одиниці берега ([12, 3, 2]) з квазіоднорідним режимом деформації та визначаються за верхніми ($\Phi(EL_{03,n}(R))_{max,perm}$) і нижніми ($\Phi(EL_{03,n}(R))_{min,perm}$) межами структурної однорідності (див. [14]) екстремальних унормованих значень перетинів випадкових процесів певних геоеlementів стану укусу "в системі" – вздовж берегової лінії ($\Phi(EL_{03,n}(R))_{max,e}$; $\Phi(EL_{03,n}(R))_{min,e}$), тобто за умовами

$$\Phi(EL_{03,n}(R))_{max,e} \leq \Phi(EL_{03,n}(R))_{max,perm}, \quad (17)$$

$$\Phi(EL_{03,n}(R))_{min,e} \geq \Phi(EL_{03,n}(R))_{min,perm}, \quad (18)$$

де допустимі межі значень відповідних квантилів визначаються за табл.2.

Таблиця 2. Допустимі межі значень екстремальних квантилів геоеlementів стану забережного укусу при визначенні його морфостохастично однорідної вздовжберегової ділянки за (17)-(18)

Геоеlement стану	$\Phi(EL_{03,n}(R))_{max,perm}$	$\Phi(EL_{03,n}(R))_{min,perm}$
<i>a</i>	3,00	- 2,94
<i>b</i>	3,00	- 2,10
<i>m₁</i>	3,00	- 1,30
<i>H_{cr}</i>	3,00	- 2,50
<i>B</i>	3,00	- 2,35
<i>m₂</i>	3,00	- 1,81

2) гідродинамічні критерії однорідності ділянки хвилеприбійного мезогеотону (у т.ч. забережного укусу) (див. [3, 2]). Ця ділянка визначається відносно однаковими вздовж берега умовами хвильової дії на хвилеприбійний мезогеотон (розрахунковою критичною висотою хвилі $h_{cr,c}$) і повинна вирізнятися у межах "вздовжберегових" коливань відповідної $h_{cr,c}$ розрахункової режимної глибини води $H_{cr}(t)_{Pex}$, тобто в межах

$$H_{cr}(t)_{Pex} \pm n_{\sigma} \cdot \sigma(H_{cr}(t)) = H_{cr}(t)_{Pex} \cdot (1 \pm n_{\sigma} \cdot C_v(m_2(t)/K_{hcr,e}), \quad (19)$$

де $n_{\sigma}=1$ (I і II класи капітальності об'єктів берегової зони); $n_{\sigma}=2$ (III і IV класи капітальності) (див. докладніше у [11, 3] і далі); $K_{hcr,e}$ – модульний коефіцієнт $h_{cr,c}$ (див. [13]).

4. Подальшим етапом досліджень була розробка способу визначення розрахункової ймовірності перевищення і відповідного до неї розрахункового значення $H_{cr}(t)_{Pex}$ за однорідною ділянкою за багатоліття (в режимі), а отже якісно відмінного від інших **розрахункового просторово-часового параметра** $H_{cr}(R,t)_{REL}$, який відповідає $H_{cr}(R,t)_{Pex}$ (див. моделі (1)-(2)), тобто того параметра, що має розрахункову ймовірність перевищення, яка визначається одночасно і у режимі, і у системі (вздовж берега) з урахуванням також наступних умов.

Базуючись на прийнятому принципі суперпозиції атрибутів гідрогенного та морфоседиментогенного (укісного) модулів хвилеприбійного мезогеотону та розглядаючи однорідну ділянку останнього вздовж берега, ми прийняли параметри $m_2(t)^*$ і $H_{cr}(t)_{Pex}$ як середні для всієї такої ділянки (див. попередній

текст). А проте, у даному випадку зміст модельної задачі буде зводитися не тільки до обґрунтування відповідної $H_{cr}(t)_{Pex}$, що визначена за глибоководною хвилею у розрахунковому штормі, ймовірність перевищення якого відповідає класу капітальності об'єктів берегової зони. Додатковою умовою буде і необхідність урахування ймовірностей спільного сполучення $m_2(t)^*$ і режимної $H_{cr}(t)_{Pex}$, тобто ймовірності існування режимної $H_{cr}(t)_{Pex}$ на гідродинамічно однорідній ділянці хвилеприбійного мезогеотону, морфоседиментогенний модуль якого (забережний укіс) має середній похил підводної частини $m_2(t)^*$. Виходячи з прийнятої незалежності геоелементів стану H_{cr} і m_2 , спільної функції їх розподілу (див. [11, 3]) та використовуючи екстохастичну модель (2), відповідну їй функцію розподілу та інші стохастичні закономірності ([2]), шукану просторово-режимну критичну глибину $H_{cr}(R,t)_{REL}$ можна подати як

$$H_{cr}(R,t)_{REL} = H_{cr}(t)_{Pex} \cdot \{C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) + 1\}, \quad (20)$$

$$\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = \{y_{Hcr} \cdot \{-\lg P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL})\}^{1/Z_{Hcr}} - D_{Hcr}\}, \quad (21)$$

$$P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = P_{ex,REL}/P_{ex}(m_2(t)^*), \quad (22)$$

де y_{Hcr} , Z_{Hcr} , D_{Hcr} – коефіцієнти моделей за табл.1; $P_{ex,REL}$ – імовірність перевищення, що відповідає класу капітальності об'єктів берегової зони (для I і II класу $P_{ex,REL}=0,02$; для III і IV класу $P_{ex,REL}=0,04$, див. [11, 3]); $P_{ex}(m_2(t)^*) = 0,46$ (за [3]); при ускладненнях з визначенням капітальності берегового об'єкта і для інших спеціальних завдань можна приймати $P_{ex,REL}$, що дорівнює ймовірності перевищення еквівалентного шторму $P_{ex,e}=0,039$.

Під $P_{ex,e}$ розумілася ймовірність перевищення розрахункового шторму, $h_{cr,c}$ у якому енергетично еквівалентна спектру розподілу $h_{cr,c}$ за розрахунковий багаторічний період. Чисельне значення $P_{ex,e}$ було отримане за відповідною коливанням $h_{cr,c}$ характеристикою багаторічних коливань $H_{cr}(t)_{Pex}$ – функцією її часової унормованої спектральної щільності $s_{Hcr}(\omega_\tau)$ (див. [13]), максимум якої за розрахунковий період у 100 років відповідає ймовірності перевищення $P_{ex,e,Hcr} = P_{ex,e} = 0,039$ (або 3,9%).

Таким чином у моделях (20)-(22), наприклад при середньому значенні $C_v(H_{cr}(Reg,R,t))^*$: для $P_{ex,REL}=0,02$ $\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 1,71$, а $P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 0,0437$; для $P_{ex,REL}=0,04$ $\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 1,39$, а $P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 0,0873$; для $P_{ex,REL}=P_{ex,e}=0,039$ $\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 1,40$, а $P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL}) = 0,0852$.

5. Структура моделі середньої висоти надводної частини $a(t)^*$ середнього профілю рівноваги динамічно однорідної ділянки забережного укосу (розрахункового профілю рівноваги) розроблялась з урахуванням співвідношення (див. рис.3)

$$a(t)_{Pex} = f(\eta_c; h_{sw,c}; h_{fet,c}) \quad (23)$$

де $a(t)_{Pex}$ – розрахункове значення геоелемента стану a ; η_c – величина зниження середнього рівня схвильованої поверхні на глибині першого обрушування $H_{cr}(t)_{Pex}$ розрахункової хвилі $h_{cr,c}$; $h_{sw,c}$ і $h_{fet,c}$ – відповідно, розрахункові значення хвильового нагону та нахату.

Виходячи з факторної зумовленості, розглянемо кожен із складників залежності (23).

У [11] наведений досить ґрунтовний вивід формул для визначення η_c і максимального нагону $h_{sw,c}$, які прийняті як розрахункові у рекомендаціях [9]. Використавши компоненти першого рівня схеми-моделі (31)-(33) у [13] та формулу розрахунку $h_{cr,c}$ за показниками хвилювання на глибоководді (за [9]), перетворимо складники параметра η_c , довівши їх через еквівалентні показники до параметрів $H_{cr}(t)_{Pex}$ і λ_{dw}^* , тобто

$$\begin{aligned} \eta_c &= -0,006 \cdot h_{dw}^{*2} \cdot \tau_{dw}^* \cdot (g/H_{cr}(t)_{Pex})^{0,5} = - \\ &= -0,006 \cdot h_{dw}^{*2} \cdot (2\pi)^{0,5} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{-1,5} = \\ &= -0,015 \cdot h_{dw}^{*2} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{-1,5} = \\ &= | h_{cr,c} = 0,3 \cdot K_{Khr,e} \cdot h_{dw}^{*-2/3} \cdot \lambda_{dw}^{*-1/3} \text{ (за [9]); } H_{cr}(t)_{Pex} = h_{cr,c} / K_{cr,e} \text{ (24)} \\ &\text{(за (15) у [13])} | = \\ &= -0,015 \cdot 4,63 \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^3 \cdot \lambda_{dw}^{*-1} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{-1,5} = - \\ &= 0,069 \cdot H_{cr}(t)_{Pex}^{1,5} \cdot \lambda_{dw}^{*-0,5}. \end{aligned}$$

Позаяк $C_v(H_{cr}(t)) \cdot C_{v,hdw} \approx 0,069$, а ступінь мінливості критичної глибини вздовж однорідної ділянки хвилеприбійного мезогеотону дійсно знаходиться у прямому зв'язку з η (більшому $C_v(H_{cr}(t))$ відповідає більша дисипація енергії хвиль вже при першому їх обрушуванні, тобто на вході в систему зазначеного мезогеотону), використаємо параметри мінливості $H_{cr}(t)$, її розрахункове значення $H_{cr}(R,t)_{REL}$ і, дотримуючись умов розмірності, отримуємо

$$\eta_c = C_{v,hdw} \cdot C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot (H_{cr}(R,t)_{REL} / \lambda_{dw}^*)^{C_{v,hdw}}. \quad (25)$$

Робимо аналогічну заміну у формулі нагону за [9] на розрахункові показники, що використані раніше, тобто

$$h_{sw,c} = h_{cr,c} / \{K_{cr,e} \cdot (1 + 8/3 K_{cr,e}^2)\} = H_{cr}(R,t)_{REL} / (1 + 8/3 K_{cr,e}^2) = 0,15 \cdot H_{cr}(R,t)_{REL}. \quad (26)$$

Позаяк за моделлю (26) визначається максимальний нагін, правомірним буде запровадження змінної $C_v(H_{cr}(t))$, тому що $C_v(H_{cr}(t))_{max}$ близький до значення 0,15, а отже остаточно

$$h_{sw,c} = C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL}. \quad (27)$$

Використану у [12] формулу розрахунку максимального нахату приведемо до наших розрахункових показників згідно з складниками розробленої у [13] схеми-моделі (31)-(33), тобто

$$\begin{aligned} h_{fet,c} &= 0,155 \cdot \cos\theta_{cr} \cdot (h_{cr,1\%} \cdot \lambda_{dw,1\%})^{0,5} / \{0,014 \cdot (1 + m_2(t)^2)\}^{0,5} = \\ &= | \text{за [12]} h_{cr,1\%} = 1,19 \cdot h_{cr,10\%}; \lambda_{dw,1\%} = 1,60 \cdot \lambda_{dw}^*; (1 + m_2(t)^2)\}^{0,5} \approx m_2(t)^* | = \\ &= 0,215 \cdot \cos\theta_{cr} \cdot (h_{cr,c} \cdot \lambda_{dw}^*)^{0,5} / \{0,12 \cdot m_2(t)^*\} = \\ &= 0,16 \cdot \cos\theta_{cr} \cdot H_{cr}(R,t)_{REL}^{0,5} \cdot \lambda_{dw}^{*0,5} / \{0,12 \cdot m_2(t)^*\} = \\ &= C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot \lambda_{dw}^{*C_{v,hdw}} \cdot \cos\theta_c / \{m_2(t)^* \cdot H_{cr}(R,t)_{REL}^{C_{v,hdw}} \cdot C_v(a(t))\} = \\ &= C_v(H_{cr}(t)) \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot (\lambda_{dw}^* / H_{cr}(R,t)_{REL})^{C_{v,hdw}} \cdot \cos\theta_c / \{m_2(t)^* \cdot C_v(a(t))\}. \end{aligned} \quad (28)$$

Приймаючи наближення (див. рис. 3), що різниця рівня зниження водної поверхні на глибині першого обрушування та розрахункового рівня води (PPB) знаходиться в межах η_c , можна подати параметричний запис співвідношення (23) як суму його складників (25), (27) і (28), тобто, після відповідних перетворень,

$$a(t)_{Pex} = H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot C_v(H_{cr}(t)) \cdot \{ \{ (\lambda_{dw}^* / H_{cr}(R,t)_{REL})^{C_{v,hdw}} \cdot \cos\theta_c / \{ m_2(t)^* \cdot C_v(a(t)) \} + C_{v,hdw} \cdot (H_{cr}(R,t)_{REL} / \lambda_{dw}^*)^{C_{v,hdw}} + 1 \} \}. \quad (29)$$

Для переходу до моделі $a(t)^*$ використаємо

$$a(t)_{Pex} = a(t)^* \cdot \{ C_v(a(R,t)) \cdot \Phi(a(t)_{Pex}) + 1 \}. \quad (30)$$

Щоб визначити $\Phi(a(t)_{Pex})$, потрібно задатися способом розрахунку ймовірності перевищення $a(t)_{Pex} - P_{ex}(a(t)_{Pex})$. За аналогією із субзадачею для $H_{cr}(t)_{Pex}$ і $m_2(t)^*$, оцінюємо ймовірність спільного сполучення $a(t)_{Pex}$ і коефіцієнта надводного укусу $m_1(t)^*$, тобто ймовірність існування надводної частини забережного укусу з коефіцієнтом $m_1(t)^*$ і висотою $a(t)_{Pex}$ при заданому рівні хвильових навантажень, що визначаються прийнятим класом капітальності об'єкта. Тоді

$$P_{ex}(a(t)_{Pex}) = P_{ex,REL} / P_{ex}(m_1(t)^*). \quad (31)$$

Використовуючи екстохастичну функцію $a(t)_{Pex}$ (див. [3, 2]), отримуємо

$$\Phi(a(t)_{Pex}) = \{ \{ y_a \cdot \{ - \lg P_{ex}(a(t)_{Pex}) \}^{1/Z_a} - D_a \} \}, \quad (32)$$

де y_a, Z_a, D_a – коефіцієнти моделей за табл.1; $P_{ex}(m_1(t)^*) = 0,41$ (за [3, 11]).

Звідси у моделях (30)-(32), наприклад при середньому значенні $C_v(a(R,t))^*$: для $P_{ex,REL}=0,02$ $\Phi(a(t)_{Pex}) = 1,57$; для $P_{ex,REL}=0,04$ $\Phi(a(t)_{Pex}) = 1,27$; для $P_{ex,REL}=P_{ex,e}=0,039$ $\Phi(a(t)_{Pex}) = 1,28$.

Згідно з (29), (30) та (32) модель середньої висоти надводної частини динамічно рівновагової ділянки укусу має вигляд

$$a(t)^* = \{ \{ H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot C_v(H_{cr}(t)) / \{ C_v(a(R,t)) \cdot \Phi(a(t)_{Pex}) + 1 \} \} \times \{ \{ (\lambda_{dw}^* / H_{cr}(R,t)_{REL})^{C_{v,hdw}} \cdot \cos\theta_c / \{ m_2(t)^* \cdot C_v(a(t)) \} + C_{v,hdw} \cdot (H_{cr}(R,t)_{REL} / \lambda_{dw}^*)^{C_{v,hdw}} + 1 \} \}. \quad (33)$$

6. При розробці гідроморфостохастичних моделей забережного укусу також була вирішена (детальні викладки – у [11, 3]) субзадача стохастичного прогнозу (оптимальної екстраполяції) висотних відміток усередненого за ділянкою розрахункового профілю рівноваги укусу з похилами $m_2(t)^*$ і $m_1(t)^*$ з урахуванням енергетичних показників хвилювання "на вході" системи хвилеприбійного мезогеотону (тобто тих, що відповідають $h_{cr,c}$, $H_{cr}(R,t)_{REL}$ і $H_{cr}(t)_{Pex}$), зумовленості форми (використовуючи тотожність відповідних автокореляційних функцій, див. [11, 3, 2]) та довжини (висотна відмітка $H_{cr}(R,t)_{REL} + a(t)_{Pex}$) шляху дисипації енергії $h_{cr,c}$ за поверхнею укисної ділянки, площинні коливання якої (тобто

реалізації випадкових процесів та полів обраних геоеlementів хвилеприбійного мезогеотону) для стійкого стану укусу будуть володіти властивістю умовної ергодичності (див. [2]). Модель ординат розрахункового профілю рівноваги забережного укусу ($H(\Delta B_{L,T})$, де $B_{L,T} = V(t)_{Pex} + b(t)_{Pex}$) запишеться як (див. рис.3 і [11])

$$H(\Delta B_{L,T}) = (H_{cr}(R,t)_{REL} + a(t)_{Pex}) \times \exp [\ln \{(H_{cr}(R,t)_{REL} - H_{cr}(t)_{Pex}) / (H_{cr}(R,t)_{REL} + a(t)_{Pex})\} \Delta B_{L,T} / B_{L,T}]. \quad (34)$$

Додатково використовуючи модель (34), можна також отримати гідроморфостохастичну модель середньої ширини надводної частини забережного укусу ($b(t)^*$, (35)) та похідну від (33) і (35) модель коефіцієнту надводної частини укусу (деталізуючи вираз $m_1(t)^* = b(t)^* / a(t)^*$)

$$b(t)^* = \{m_2(t)^* \cdot H_{cr}(R,t)_{REL} \cdot \ln(a(t)_{Pex} / H_{cr}(R,t)_{REL} + 1)\} / \{ \{ \{ C_v(a(R,t)) \cdot \Phi(a(t)_{Pex}) + 1 \} \} \cdot \{ \{ C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) + 1 \} \} \} \times \{ \{ \ln(1 + 1 / \{ C_v(H_{cr}(Reg,R,t)) \cdot \Phi(H_{cr}(R,t)_{REL}) \} \} \} \}. \quad (35)$$

7. Розрахунковими показниками профілю рівноваги забережного укусу, крім $m_2(t)^*$, $m_1(t)^*$, $H_{cr}(R,t)_{REL}$, і $H_{cr}(t)_{Pex}$, є також параметри $a(t)_{Pex}$, $b(t)_{Pex}$ та $V(t)_{Pex} = m_2(t)^* \cdot H_{cr}(t)_{Pex}$, які визначаються відповідно до вищевикладеного згідно з структурою загальної моделі (1) та зведеною табл.3 (де додатково наведені і значення відповідного квантиля моделі (2) для лінійного руйнування берега S_b), використовуючи для всіх $EL_{03,n}(t)_{Pex}$ їхні ймовірності перевищення у режимі, штормі та за простором (вздовж берегової лінії) (див. детальніше [11]). При цьому координати точки, що задаються $a(t)_{Pex}$ та $b(t)_{Pex}$ на модельно-розрахунковому профілі берега, маркують позицію (з урахуванням її "вздовжберегових" флуктуацій за моделлю (2)) зовнішньої (суходільної) межі хвилеприбійного мезогеотону та внутрішньої (у бік акваторії) межі прибережного мезогеотону для стадії динамічної рівноваги цих мезогеотонів (див. попередній текст і [7]).

Таблиця 3. Значення розрахункових квантилів та ймовірностей перевищення при заданих $P_{ex,REL}$ і $C_v(EL_{03,n}(Reg,R,t))^*$

Квантилі та ймовірності перевищення	$P_{ex,REL}$		
	0,02	0,04	$P_{ex,e}=0,039$
$\Phi(H_{cr}(R,t)_{REL})$	1,71	1,39	1,40
$\Phi(a(t)_{Pex})$	1,57	1,27	1,26
$\Phi(b(t)_{Pex})$	0,64	0,68	0,69
$\Phi(S_b(t)_{Pex})$	2,05	1,77	1,78
$P_{ex}(H_{cr}(R,t)_{REL})$	0,0437	0,0873	0,0852
$P_{ex}(b(t)_{Pex})$	0,205	0,248	0,246

Зміст вирішення другої задачі полягає у застосуванні моделі (2) як розрахунково-прогнозувальної для односпрямованої тенденції у формуванні забережного укусу та власне берега. При цьому у моделі (2) $EL_{03,n}(t)_{Pex}$ використовуються як змінні щодо таких геоеlementів стану, як лінійне руйнування берега на заданий момент часу $t_c - S_b(t_c)$, що має межею за

розрахунковий період T_c середнє рівновагове значення S_{b,T_c} (з урахуванням формування тераси, див. [7]), та загальна ширина забережного укосу на момент t_c – $B_L(t_c)$, що має межею рівновагове значення відповідного середнього профілю $B_{L,T}$ (див. попередній текст). Алгоритм вирішення щойно зазначеної другої задачі обґрунтований і детально розглянутий у [11] і необхідні уявлення про нього дає рис.2, а власне комплекс прогнозувальних моделей $S_b(t_c)$ і $B_L(t_c)$ має вигляд:

1) для зв'язних порід у зоні розмиву

$$S_b(t_c) = b_S \cdot t_c^{\xi_S} , \quad (36)$$

$$B_L(t_c) = b_B \cdot t_c^{\xi_B} , \quad (37)$$

$$b_S = b(t)_{Pex,PPB} , \quad (38)$$

$$\xi_S = (C_v(S_b(t)/C_{v,hdw} + C_v(b(t)) , \quad (39)$$

$$b_B = b_S \cdot K_{Hcz} , \quad (40)$$

$$K_{Hcz} = H_{coast} / H_{B(t)Pex} , \quad (41)$$

$$\xi_B = 1 - (C_v(B(t)/C_{v,hdw} + C_v(a(t)) , \quad (42)$$

де, крім вже наведених, K_{Hcz} – коефіцієнт перепаду висот у прибережному та хвилеприбійному мезогеотонах; H_{coast} і $H_{B(t)Pex}$ – відповідно, висота власне берега і глибина від розрахункового рівня води (PPB, див. [11, 3]) на відстані $B(t)_{Pex}$ від точки перетину PPB з вихідним профілем берега;

2) для незв'язних порід у зоні розмиву

$$S_b(t_c) = b_S \cdot \{1 + \lg(t_c^{1/\xi_S})\} , \quad (43)$$

$$B_L(t_c) = b_B \cdot \{1 + \lg(t_c^{1/\xi_B})\} . \quad (44)$$

Слід зауважити, що, по-перше, розрахункові параметри b_S , b_B , ξ_S і ξ_B моделей (36)-(37) та (43)-(44) коригуються в процесі формування інформаційного базису даних при експлуатації водосховищ. По-друге, координати точок, що задаються $S_b(t_c)$ на профілі берега визначають просторово-часове "еволюційне просування" у бік суходолу квазілінійної зовнішньої (суходільної) межі прибережного мезогеотону, а $B_L(t_c)$ – таке ж "просування" зовнішньої межі хвилеприбійного мезогеотону знову-таки з урахуванням коливань цих позицій вздовж берега за моделлю (2) [6, 7].

У цілому ж, верифікація усіх вищенаведених як гідроморфостохастичних, так і "суто" прогнозувальних моделей на репрезентативних натурних і лабораторних даних довела правомірність їхньої структури та засвідчила добру збіжність з цими даними та переваги над аналогічними моделями, що найбільше використовуються [11].

Висновки. 1. Запропоновано та задовільно верифіковано набір моделей для вирішення комплексу задач моделювання геоеlementів стану (elementів профілю берега) та суходільних меж хвилеприбійного та прибережного мезогеотону берегової зони великих рівнинних водосховищ. Моделі враховують як просторово-часову зміну репрезентативних геоеlementів в

процесі еволюційного формування та переформування структури берегової зони, так і рівноваговий стан зазначених мезогеотонів.

2. Отримані рішення є важливими у методично-прикладному аспекті для об'єктивної модельної ідентифікації берегових геосистем, що спрямована на удосконалення регламенту природокористування у береговій зоні водосховищ, її геоecологічно-оптимізаційне районування та збереження ресурсів і геоecологічну реабілітацію геосистем цієї зони.

Список літератури

1. *Самойленко В.М.* Тримірне районування геосистем великих водосховищ / В.М. Самойленко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 230-237.
2. *Самойленко В.М.* Математичне моделювання в геоecології / В.М. Самойленко. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2003. – 199 с.
3. *Самойленко В.М.* Кадастр радіоактивного забруднення водних об'єктів України місцевого водокористування. Том 1. Радіогідроекологічний стан і використання водойм та загальнометодологічні проблеми / В.М. Самойленко. – К.: Ніка-Центр, 1998. – 192 с.
4. *Самойленко В.М.* Систематизація сучасних фізико-географічних процесів у береговій зоні великих водосховищ / В.М. Самойленко, І.О. Діброва // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 9.– С. 30-38.
5. *Самойленко В.М.* Класифікація берегових ландшафтних ярусів і смуг / В.М. Самойленко, І.О. Діброва // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 11.– С.318-325.
6. *Самойленко В.М.* Ландшафтні межі берегової зони водосховищ / В.М. Самойленко, І.О. Діброва // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2007. – Т.13. – С.181-200.
7. *Самойленко В.М.* Складники ідентифікації берегових геосистем водосховищ / В.М. Самойленко, І.О. Діброва // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2008. – Т.14. – С.9-41.
8. *Титов Л.Ф.* Ветровые волны / Л.Ф. Титов – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 294 с.
9. Рекомендации по расчету искусственных свободных пляжей. – М. : ВНИИТС, 1982. – 26 с.
10. *Samoylenko V.M.* The stochastic scheme/model for first-breaking waves in the surf zone coordinated with spectral regularities and superposition principle of beach/shore deformation agent & results / V.M. Samoylenko, O.V. Koulachinsky // Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. UNESCO/WMO. – 1994. – XVII, vol. II. – P.637-642.
11. Розробити та впровадити технологію еколого-економічної оптимізації експлуатації дніпровських водосховищ. Звіт про НДР за проектом 1/92 (зведений) / Самойленко В.М. / "НІЦ ВЕМОВ". – № UA01011149р. – К., 1997. – 228 с.
12. *Максимчук В.Л.* Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В.Л. Максимчук. – К. : Будівельник, 1981. – 112 с.
13. *Самойленко В.М.* Моделювання акваторійної межі хвилеприбійного мезогеотону берегової зони водосховищ / В.М. Самойленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Т.16. – С. 7-21.
14. *Самойленко В.М.* Ймовірнісні математичні методи в геоecології / В.М. Самойленко. – К. : Ніка-Центр, 2002. – 404 с.

Моделювання геоелементів стану і суходільних меж хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів берегової зони водосховищ

Самойленко В.М.

Розроблено комплекс розрахунково-прогнозних моделей динаміки і стійкості хвилеприбійного та прибережного мезогеотонів берегової зони водосховищ. Моделі можуть бути використані для вирішення задач з геоecологічної оптимізації природокористування.

Ключові слова: берегова зона, водосховище, мезогеотон, берегові межі, геоеlementи стану, моделювання.

Моделирование геоэлементов состояния и суходольных границ волноприбойного и прибрежного мезогеотонів береговой зоны водохранилищ

Самойленко В.Н.

Разработан комплекс расчетно-прогнозных моделей динамики и устойчивости волноприбойного и прибрежного мезогеотонив береговой зоны водохранилищ. Модели могут быть использованы для решений задач по геоэкологической оптимизации природопользования.

Ключевые слова: береговая зона, водохранилище, мезогеотон, береговые границы, геоэлементы состояния, моделирование.

Simulation of status geo-elements and on-land boundaries for wave-cut and onshore meso-geotones of reservoirs coastal zone

Samoylenko V.M.

It was elaborated the complex of calculating-prognostic models for dynamics and stability of wave-cut and onshore meso-geotones of reservoirs coastal zone. Models can be used for solutions aimed to geo-ecological nature management optimization.

Keywords: coastal zone, water reservoir, meso-geoton, coastal boundaries, geo-elements of state, simulation

Надійшла до редколегії 14.01.10

УДК 556.53 (282.247.32)

**Тімченко В.М., Тімченко О.В., Гуляєва О.О., Холодцько О.П.,
Вандюк Н.С.**

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

**ЕКОЛОГО-ГІДРОДИНАМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ КАСКАДНИХ
ДОЛИННИХ ВОДОСХОВИЩ**

Ключові слова: Дніпровські водосховища; еколого-гідродинамічне районування

Актуальність проблеми. Кожен водний об'єкт суші має власну гідрологічну структуру, тобто просторові комбінації різнорідних водних мас. Аналіз просторової структури водойм є предметом спеціальних досліджень. Визначено зокрема [8], що просторова структура водосховищ більш складна, ніж озерна. Особливо яскраво проявляється специфіка техногенних водних екосистем у водосховищах долинного класу. Як відомо, водосховища дніпровського каскаду ГЕС відносяться до долинних і слугують об'єктом багаторічних спроб розробки різноманітних схем районування.

Найбільш розповсюдженою до сьогодення є схема акваторіального розподілу, в основі якої лежить використання гідроморфологічних показників. Акваторії дніпровських водосховищ, наприклад, розподіляються на три ділянки – верхню, середню і нижню [2]. Для врахування місцевих умов (надходження генетично різних водних мас із приток, наявність крупних заток і т.п.) вказаний розподіл доповнюється підділянками.

Наші дослідження, проведені з метою розробки методології та методичної бази управління екосистемами річкових ділянок дніпровських

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.2(19)