

*Гонченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р., Шаменкова О.І.  
Одеський державний екологічний університет*

## **ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ЗАКРИТИХ ЛИМАНІВ-ВОДОСХОВИЩ ПІВНІЧНО- ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я**

*Ключові слова: лимани-водосховища, прогноз характеристик весняного водопілля, розрахункова ймовірність перевищення*

**Вступ.** Велику загрозу в період значного припливу поверхневих вод в деякі із закритих водоймищ Причорноморського регіону становить ступінь максимального їх наповнення дощовими або тало-дощовими водами. До таких водоймищ відноситься, наприклад, найбільший із закритих одеських лиманів – Хаджибейський. Він утворився в результаті затоплення морем гирлової ділянки річки Малий Куяльник при опусканні приморської полоси суші [1,2]. Лиман має довжину 33-40 км, ширину – 0.5 – 3.5 км, середню глибину – близько 4-5 м. Площа водного дзеркала в середньому близька до 100 км<sup>2</sup>, об'єм води при цьому становить 400 млн.м<sup>3</sup>, площа водозбору – 2.7 тис.км<sup>2</sup>. Лиман відокремлений від моря широким чотирикілометровим піщаним пересипом, по якому прокладено канал для скидання води в море.

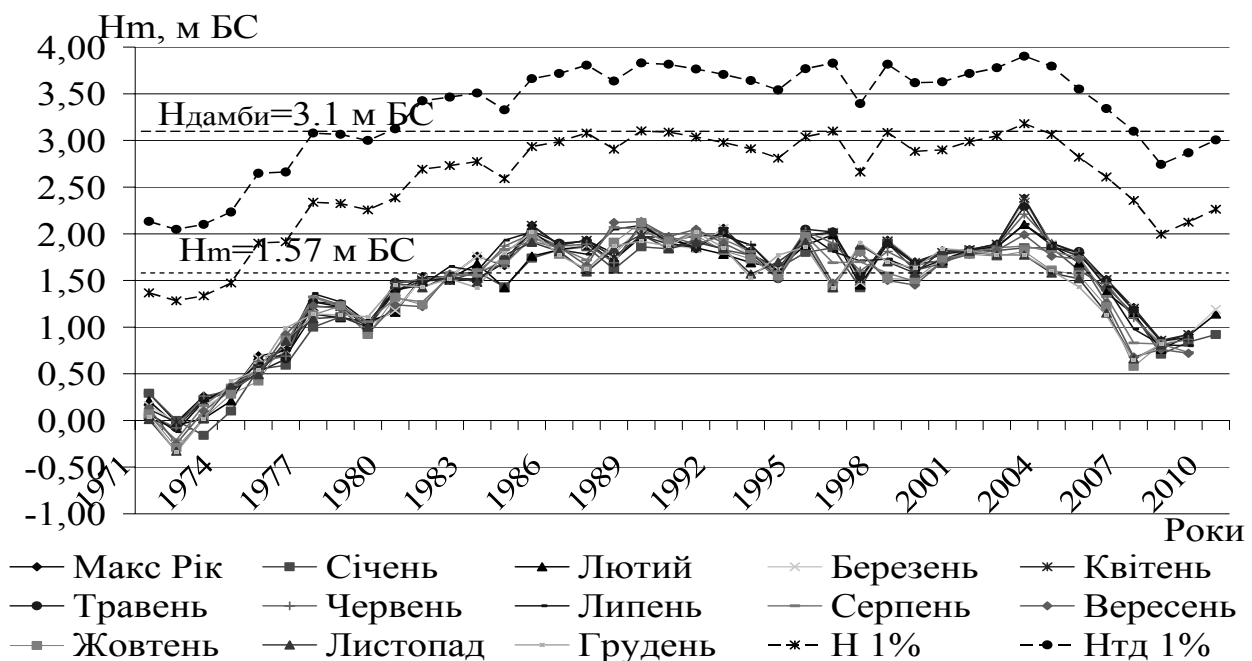
У зв'язку з суттєвим підвищенням рівнів води в Хаджибейському лимані в періоди проходження багатоводних весняних водопілля виникає небезпека переливу води через греблю дамби, що відокремлює лиман від моря, її руйнування і затоплення жилих територій і підприємств міста Одеси.

З іншого боку, для близько розташованого до Хаджибею Куяльницького лиману проблема полягає у катастрофічному зниженні рівнів води у зв'язку з перехопленням річкових вод р.Великий Куяльник ставками та малими водосховищами. При цьому (за даними експедиційних досліджень влітку 2009 р.) максимальна глибина у лимані зменшилася від 4.5 до 1.8 м, площа водного дзеркала скоротилася від 56 до 37.6 км<sup>2</sup> при об'ємі води в ньому всього 18.8 млн. м<sup>3</sup>, що майже у 20 разів менше від можливого максимального наповнення лиману.

Тому важливе значення при регулюванні водного режиму цих та інших лиманів-водосховищ закритого типу північно-західного Причорномор'я мають розрахунки і прогнози гідрологічних характеристик в період найбільш багатоводної фази водності річок – весняного водопілля. Розробка науково-методичних рекомендацій при цьому ускладнюється через практичну відсутність вихідної гідрологічної інформації в межах розташування окремих лиманів-водосховищ.

**Матеріали і методи дослідження.** В результаті дослідження рівневого режиму Хаджибейського лиману встановлено, що ще століття тому рівні води в ньому знаходилися на відмітці на 3.81 м нижче рівня моря (статичний рівень моря мінус 0.38 м БС), тобто лиман був у стані висихання. Пізніше у зв'язку зі скидами трансформованих стічних вод з полів зрошення рівні води в лимані зросли до небезпечних позначок (плюс 2.21 мБС), а потім при створенні насосної системи «лиман-море», яка була призначена для перекидання частини води з лиману в море, – знизилась до відмітки рівня моря. За підтримки нормального рівневого режиму в лимані був обмежений максимальний рівень води в ньому на відмітці плюс 1.57 м БС, а для безпечного функціонування автомобільного шляху, прокладеного по дамбі, відповідно до будівельних норм при вітро-хвильових навантаженнях призначена відмітка гребеня на рівні 3.1мБС.

Багаторічний рівневий режим Хаджибею (рис.1) показує, що у період після 1973 р. рівень води в ньому доволі інтенсивно почав зростати і утримувався на високих позначках (плюс 1.57-1.94 м БС) протягом майже двадцяти років експлуатації водосховища, досягаючи й небезпечних відміток – до плюс 2.02-2.09 м БС, і, навіть, до плюс 2.38 м БС у період високого весняного водопілля 2003 р. На фоні маловодності останніх років рівні води в лимані утримуються на позначках не вище 1.0 м БС. Незважаючи на це, загроза критичного підвищення рівнів води в Хаджибейському лимані при виникненні високих весняних водопіль або дощових паводків існує, а ситуація стає небезпечною.



**Рис. 1** Сумісний багаторічний хід максимальних за місяці та рік ( $H_m$ ) і розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля та дощового паводка у Хаджибейському лимані виняткової забезпеченості ( $P=1\%$ )

У роботі обґрунтована розрахункова схема визначення можливих значень відміток води в Хаджибейському лимані за умови проходження

водопіль і паводків рідкісної ймовірності настання в багаторічному періоді (наприклад, при забезпеченості  $P=1\%$ ).

Так, при проходженні весняного водопілля виняткової 1%-ї ймовірності перевищення рівні води у лимані могли б досягти або перевищити критичну відмітку дамби (плюс 3.1 м БС) – наприклад, у 1987, 1990, 1996, 1998, 2003 рр. На рис.1 цей розрахунковий рівень при  $P=1\%$  позначено як  $H_{1\%}$ . За виникнення катастрофічної ситуації, коли в лимані в період проходження високих рівнів води весняного водопілля  $H_{1\%}$  (в квітні-травні) могли б пройти ще й дощі тієї ж ймовірності перевищення  $P=1\%$ , розрахункові рівні води у ньому  $H_{\text{тд } 1\%}$  досягли б небезпечних позначок – 3.8-3.9 м БС, причому майже впродовж усього 20річного періоду.

У багаторічному рівневому режимі Куяльницького лиману можна виділити періодичність (починаючи з 1860 р.) як підвищення, так і зниження рівнів води у ньому. З 90-х років минулого століття відмічено найбільш інтенсивне їх зниження – від – 6.06 м БС до значень – 6.46 м БС (у 2009 р.).

Таке критичне зниження рівнів води у Куяльнику може призвести до катастрофічного підвищення вмісту солей у воді, обмілінню водойми, зникнення лікувальних грязьових утворень у ньому. Станом на 2009 р. солоність Куяльницького лиману перевищує 300-350‰, у той час, коли мінералізація Хаджибея становить не більше 10‰.

Для ефективного регулювання водного режиму закритих лиманів-водосховищ північно-західної частини Причорноморської низовини запропонована і реалізована методика прогнозу можливого наповнення водойм у багатоводний весняний період року на базі довгострокового прогнозу об'ємів стоку весняного водопілля в їх басейнах [3,4].

**Результати дослідження та їх аналіз.** За обмеженості або відсутності даних гідрологічних спостережень в басейнах лиманів, як і майже в межах всієї території Причорномор'я, методика прогнозу базується на встановленні для опорних гідрологічних створів (що мають часові ряди стокових спостережень) регіональних залежностей шарів весняного стоку від сумарних запасів вологи на водозборах (виражених у модульних коефіцієнтах) у вигляді

$$\frac{Y_m}{Y_0} = \frac{(S_m + X_1 + X_2)}{(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})}, \quad (1)$$

де  $Y_m$  і  $Y_0$  – шар стоку весняного водопілля та його середньобагаторічна величина, мм;  $S_m$  і  $S_0$  – середні на водозборі максимальні снігозапаси та їх середньобагаторічна величина, мм;  $X_1$  і  $X_{1_0}$  - дощові опади періоду весняного сніготанення та їх середньобагаторічна величина;  $X_2$  і  $X_{2_0}$  - дощові опади періоду спаду водопілля та їх середньобагаторічна величина.

Розрахунок сумарної кількості води, яка бере участь у формуванні весняного водопілля виконується за такою схемою.

В дату складання прогнозу за рівнянням вигляду

$$(S_m + X_1' + X_2')_{ДСП} = S_{ДСП} + \Delta\bar{S} + X_1' + X_2', \quad (2)$$

де  $S_{ДСП}$  - максимальні запаси води в сніговому покриві (з урахуванням залісеності водозбору), які накопичилися на дату складання прогнозу, мм;  $\Delta\bar{S}$  - нормальна добавка до максимальних запасів води в сніговому покриві, мм;  $X_1'$  - очікувані рідкі опади періоду сніготанення, мм;  $X_2'$  - очікувані рідкі опади періоду спаду водопілля, мм.

Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві встановлюються за рівнянням

$$\Delta\bar{S} = b + a(\varphi - 50^0), \quad (3)$$

де  $\varphi$  - географічна широта геометричних центрів водозборів лиманів, в частках град.

Коефіцієнти  $a$  і  $b$  визначаються для календарних дат випуску прогнозів і в залежності від температурних умов зимово-весняного сезону (температур повітря за лютий чи березень).

Величини опадів ( $X_1$  та  $X_2$ ) на період завчасності прогнозу можна оцінити за середньобогаторічними їх значеннями або, орієнтуючись на метеорологічний прогноз (опади вище норми, близько або нижче норми), шляхом введення відповідних коефіцієнтів  $k_1$  або  $k_2$  за рівняннями:

$$X_1' = k_1 X_{1_0}; \quad (4)$$

$$X_2' = k_2 X_{2_0}. \quad (5)$$

В дату накопичення максимальних запасів води в сніговому покриві сумарні вологозапаси визначаються як

$$S_m + X_1 + X_2 = S_m + X_1' + X_2'. \quad (6)$$

Враховуючи відсутність багаторічних рядів спостережень в басейнах лиманів, їх середньобогаторічні гідрометеорологічні характеристики і фактори весняного водопілля в своїй більшості підлягають відновленню [5]. Значення середньобогаторічних величин максимальних запасів води в сніговому покриві ( $S_0$ ) встановлюються по картосхемах їх розподілу територією для геометричних центрів водозборів лиманів; середньобогаторічних величин сум опадів за весняне водопілля – за формулами:

$$X_{1_0} = 3.31(\varphi - 50^0) + 32.5; \quad (7)$$

$$X_{2_0} = 9.6(\varphi - 50^0) + 46.6. \quad (8)$$

До переліку стокоформувань факторів весняного стоку відносяться також вологість ґрунтів на водозборах та глибина їх промерзання. Вони

враховуються, як і загальні вологозапаси, у вигляді модульних коефіцієнтів. При цьому середньобогаторічні величини глибин промерзання ґрунтів на водозборах ( $L_0$ ) за відсутності даних вимірів визначаються з їх залежностей від географічної широти  $\varphi$

$$L_0 = 65.6 + 3.56(\varphi - 50^0). \quad (9)$$

Середньобогаторічні величини середньомісячних витрат води перед весняним водопіллям для річок, на яких не ведуться спостереження за стоком, встановлюються за їх залежністю від площ водозборів річок  $F$ , км<sup>2</sup>. Такі регіональні рівняння, наприклад, для січня та лютого відповідно обчислені у вигляді:

$$(Q_{01})_0 = 0.0013F; \quad (10)$$

$$(Q_{02})_0 = 0.0021F. \quad (11)$$

Враховуючи комплекс факторів, що впливають на розвиток весняних процесів, при використанні лінійної дискримінантної функції  $DF$  встановлюється тип водності майбутнього водопілля. Функція  $DF$  розраховується в дату складання прогнозів за таким рівнянням

$$DF = a_0 + a_1k_x + a_2k_{Q_{n.e}} + a_3k_L, \quad (12)$$

де  $A = (a_0, a_1, a_2, a_3)$  - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції;  $X = (k_x, k_{Q_{n.e}}, k_L)$  - вектор ознак (вектор-предиктор), виражених у безрозмірних комплексах:  $k_x = \frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}$  - середньобогаторічні

величини максимальних запасів води в сніговому покриві, які накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення, і дощові опади періоду водопілля;  $k_{Q_{n.e}} = Q_{n.e} / (Q_{n.e})_0$  - індекс зволоження ґрунтів як середньомісячна витрата води перед початком водопілля, що розраховується для басейнів лиманів за рівняннями типу (10) і (11);  $k_L = L / L_0$  - максимальна глибина промерзання ґрунтів на басейнах перед весною.

Довгостроковий прогноз шарів стоку весняного водопілля в басейнах лиманів ведеться у такій послідовності. За знаком дискримінантних рівнянь встановлюється водність майбутньої весни. При  $DF1 > 0$  шар стоку очікується більше за середньобогаторічну величину, при  $DF1 \leq 0$ ;  $DF2 \geq 0$  - близько неї, а при  $DF1 < 0$ ;  $DF2 < 0$  - нижче за середньобогаторічну величину. Коефіцієнти для дискримінантних рівнянь (12) наводяться в табл. 1.

**Таблиця 1. Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій при встановленні типу водності весняного водопілля в басейнах Хаджибейського та Куяльницького лиманів**

$DF$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$DF1$	-1.88	-14.4	5.73	6.46
$DF2$	0.82	-11.0	5.08	11.0

Регіональні залежності (1) дають можливість прогнозування модульного коефіцієнта шарів стоку водопілля в басейнах лиманів відповідно до знаку дискримінантної функції при формуванні багато-, середньо- або маловодних водопілля і описуються рівнянням вигляду

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (13)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти поліному.

Коефіцієнти  $b_0, b_1, b_2, b_3$  представлені в табл. 2 і використовуються в рівнянні (13) за умови застосування кривих за ознаками  $DF$ .

**Таблиця 2. Коефіцієнти поліному (13) для прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейнах Хаджибейського та Куяльницького лиманів**

Умови застосування	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
$DF1 \geq 0$	$2.10 \cdot 10^{-2}$	0.521	-1.43	3.29
$DF1 \leq 0; DF2 \geq 0$	$-3.50 \cdot 10^{-2}$	1.02	-2.40	1.79
$DF1 < 0; DF2 < 0$	$-1.40 \cdot 10^{-2}$	0.25	-0.56	0.38

Прогнозні значення очікуваних величин шарів стоку весняного водопілля  $Y_m$  встановлюються за співвідношенням

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0, \quad (14)$$

де  $Y_0$  – середньобагаторічна величина шару весняного стоку (мм), яка визначається для басейнів Хаджибейського та Куяльницького лиманів за визначеним для Причорноморського регіону рівнянням в залежності від географічного положення водозборів

$$Y_0 = 5.62(\varphi - 50^0) + 28.2. \quad (15)$$

Методика довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля включає встановлення забезпеченості або ймовірності настання водопілля у багаторічному розрізі. Встановлюється вона за допомогою кривої трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля при  $C_s/C_v=2.5$  [6] по очікуваних модульних коефіцієнтах шарів стоку та їх коефіцієнтах варіації у вигляді інтервалу  $P\%$ .

Коефіцієнти варіації шарів стоку узагальнені для річок Причорноморської низовини і можуть визначатись для басейнів лиманів за регіональним рівнянням

$$(C_v)_{Y_m} = 2.63 \cdot Y_0^{-0.34}. \quad (16)$$

Визначення дат початку водопілля здійснюється шляхом розрахунку тривалості водовіддачі снігу ( $t_g$ , д) за регіональною формулою (при  $\theta_1$  до  $5.0-5.5$  °С)

$$t_g = [0.43(\varphi - 50) + 7.72] - [0.16(\varphi - 50) + 1.64] \cdot \theta_1, \quad (17)$$

де  $\theta_1$  - середньодекадна температура повітря за першу (після дати настання максимальних снігозапасів  $D_{Sm}$ ) декаду,  $^{\circ}\text{C}$ .

Прогнозування дат початку весняного водопілля у поточному році здійснюється за схемою

$$D'_e = D_{Sm} + t_e, \quad (18)$$

де  $D'_e$  – прогнозована у конкретному році дата початку весняного водопілля.

Дати проходження максимальних рівнів води весняного водопілля в лиманах встановлюються з урахуванням тривалості підйому весняного водопілля ( $t_n$ , д), яка визначається у кожному році за рівнянням (при  $\theta_2$  до  $7.0-10.0^{\circ}\text{C}$ )

$$t_n = \{3.45 \cdot \exp[0.42 \cdot \lg(F + 1)]\} - [-0.12(\varphi - 50) + 1.75] \cdot \theta_2, \quad (19)$$

де  $\theta_2$  - середньодекадна температура повітря за декаду, наступну після дати початку водопілля  $D_e$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .

Дати проходження максимальних рівнів води весняного водопілля  $D_{Hm}$  при складанні прогнозу в спостережену дату початку весняного водопілля ( $D_e$ ) визначаються за схемою

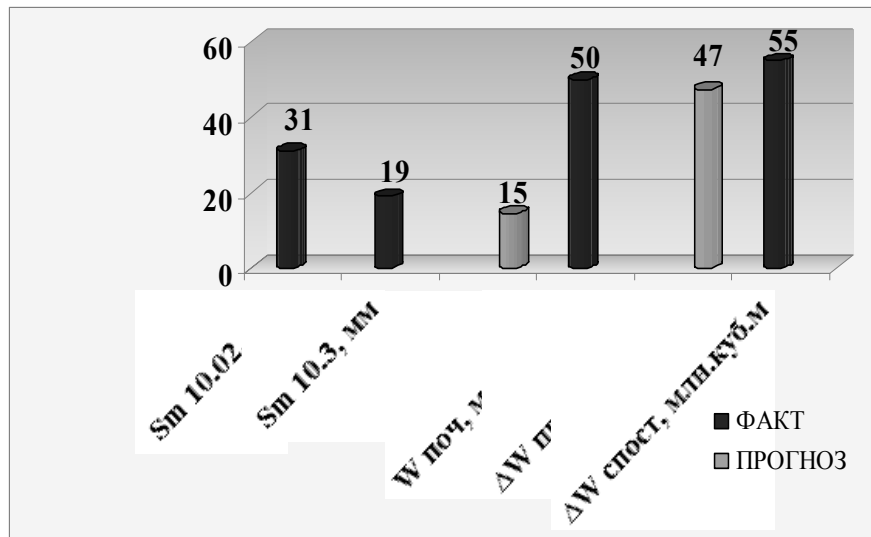
$$D'_{Hm} = D_e + t'_n. \quad (20)$$

**Практичне використання.** Запропонована методика довгострокового прогнозування шарів стоку і характерних дат проходження весняного водопілля практично апробована для низки років, у тому числі й для багатосніжної весни 2010 р. Так, для оцінки умов функціонування Хаджибейського і Куяльницького лиманів розрахунок припливу тало-дошових вод до них здійснювався за прогнозними величинами шарів стоку в цьому році, які були перераховані в об'єми води ( $W$ , млн.  $\text{м}^3$ ) за кривими об'ємів, а потім і в рівні води в лиманах. При визначенні сумарного надходження весняних вод до лиманів, враховуючи прогнозний шар припливу тало-дошових вод з басейнів лиманів, вважалось, що опади на дзеркало водойм компенсуються випаровуванням з їх водної поверхні під час весняного водопілля.

У період весняного водопілля 2009-2010 р. для Хаджибейського лиману очікуваний об'єм припливу весняних вод становив величину 47 млн. $\text{м}^3$  при спостереженому – 55 млн. $\text{м}^3$  (рис.2а). Для Куяльницького лиману спостерігалася інша ситуація, коли об'єм поверхневих вод спрогнозовано на рівні 40 млн. $\text{м}^3$ , а фактичний в результаті перехвату транзитних вод в басейні р.Великий Куяльник, склав всього 9 млн. $\text{м}^3$  (рис.2б).

Спрогнозовані максимальні рівні води в Хаджибейському лимані в період весняного водопілля 2009-2010 р. досягли відмітки плюс 1.20 м БС, тобто були нижчими за обмежені проектні максимальні рівні при ймовірності їх настання  $P=20-25\%$ . Дата максимального підйому рівнів води прогнозувалася на 9 березня 2010 р.

а)



б)

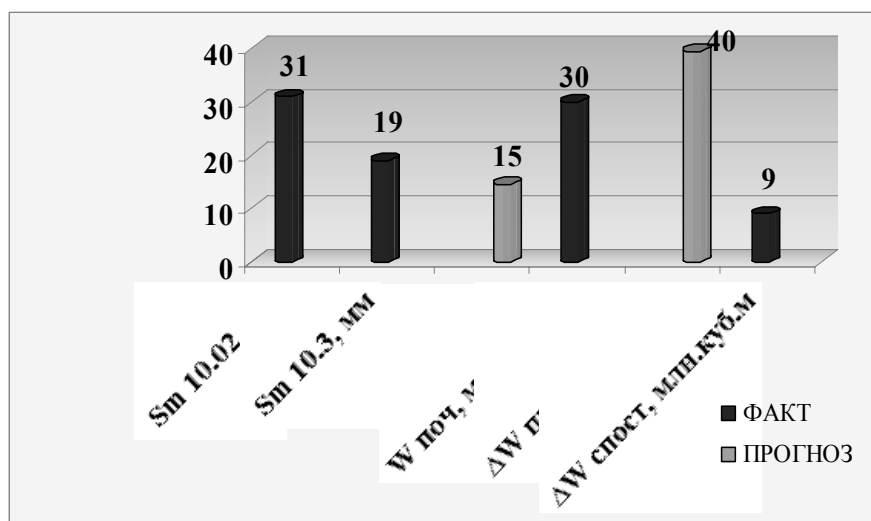


Рис.2 Приплив поверхневих вод у весняний період 2010 г. до Хаджибейського (а) та Куяльницького (б) лиманів, млн.м<sup>3</sup>

Умовні позначення:

$S_m 10.2$ ;  $S_m 10.03$  – величини максимальних снігозапасів на дати їх накопичення і відповідно дату випуску прогнозу (ДВП) шарів стоку;

$Y_m$  – спрогнозована величина шару стоку весняного водопілля 2010 р.;

$W_{\text{поч}}$  - початковий об'єм води у водоймі на ДВП (10.02.2010р.);

$\Delta W_{\text{пр}}$  - спрогнозована зміна об'єму води у водоймі за весняне водопілля;

$\Delta W_{\text{спост}}$  - спостережена зміна об'єму води у водоймі за весняне водопілля.

**Висновки.** Запропонована розрахункова і прогнозна схеми весняного наповнення закритих лиманів-водосховищ північно-західного Причорномор'я впроваджена і використовується в оперативній діяльності сектора річкових прогнозів Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (м. Одеса) у вигляді програмного комплексу для випуску щорічного прогнозу шарів стоку водопіль, наповнення лиманів поверхневими водами із завчасністю до 15-25 діб, а також для встановлення максимальних рівнів води та дат їх настання у водоймах при ймовірних оцінках прогнозних величин.



### Список літератури

1. Лиманы Северного Причерноморья / [Полищук В.С., Замбриборщ Ф.С., Тимченко В.М. и др.] – К. : Наукова думка, 1990. – 204 с.
2. Старушенко Л.И. Причерноморские лиманы Одешчины и их рыбохозяйственное использование / Л.И. Старушенко, С.Г. Бушуев ; ОФНБЮМ. – Одесса: Астропринт, 2001. – 65 с.
3. Гопченко Є.Д. Довгострокове прогнозування водності Хаджибейського лиману та оцінка його наповнення поверхневими водами у весняний період року / Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакирзанова // Весник Гидрометцентра Чорного і Азовського морей. Государственная гидрометеорологическая служба Украины. – 2009. – № 2 (10) – С.169-185.
4. Гопченко Є.Д. Методика довгострокового прогнозу надходження поверхневих вод до закритих лиманів північно-західного Причорномор'я у весняний період року / Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакирзанова // Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія Біологія. Спеціальний випуск : Гідроекологія. – 2010. – №3(44). – С.53-56.
5. Гопченко Є.Д. Можливості застосування просторових моделей для прогнозування максимального стоку весняного водопілля при обмеженості гідрологічних спостережень / Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакирзанова // Причорноморський екологічний бюлетень. – 2007. – №2(24)(червень) – С.63-66.
6. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.

#### **Проблеми ефективного управління водними ресурсами закритих лиманів-водосховищ північно-західного Причорномор'я**

**Гопченко Є.Д., Шакирзанова Ж.Р., Шаменкова О.І.**

Обґрунтована можливість оцінки ступеня наповнення закритих лиманів-водосховищ Причорномор'я поверхневими водами від танення снігу та дощових опадів як кожного року, так й при розрахунковій ймовірності перевищення  $P=1\%$ .

**Ключові слова:** лимани-водосховища, прогноз характеристик весняного водопілля, розрахункова ймовірність перевищення.

#### **Проблемы эффективного управления водными ресурсами закрытых лиманов-водохранилищ Северо-Западного Причерноморья**

**Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р., Шаменкова О.И.**

Обоснована возможность оценки степени наполнения закрытых лиманов-водохранилищ Причерноморья поверхностными водами от таяния снега и дождевых осадков как каждый год, так и при расчетной вероятности превышения  $P=1\%$ .

**Ключевые слова:** лиманы-водохранилища, прогноз характеристик весеннего половодья, расчетная вероятность превышения.

#### **The problem of effective water resources management of closed estuaries- reservoirs in north-west area of the Black Sea**

**Gopchenko E., Shakirzanova J., Shamenkova O.**

The possibility of assessing the degree of filling of closed estuaries- reservoirs of the Black Sea surface water from melting snow and rainfall, as every year, and when the estimated probability of exceeding  $P=1\%$ .

**Key words:** estuaries-reservoirs, the characteristics of the spring flood forecast, the estimated probability of exceeding.

*Надійшла до редколегії 27.06.11*