

УДК 556.55

ВОДНИЙ БАЛАНС ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ У СУЧАСНИЙ ПЕРІОД

Ю. С. Тучковенко, д-р геогр. наук, проф.,
М. О. Козлов, магістр океанології

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, science@odeku.edu.ua

Отримано оцінки внесків різних природних та антропогенних чинників у формування водного балансу Хаджибейського лиману в сучасних умовах. Встановлено, що внаслідок змін клімату, які відбуваються в останні десятиріччя, річний дефіцит природного водного балансу лиману збільшився вдвічі. Для його компенсації необхідно поповнювати лиман водою з антропогенних джерел. Дослідження впливу антропогенних чинників на річну мінливість рівня води в лимані виконано з використанням моделі водного балансу, яка була верифікована за даними спостережень здійснених в період 2006-2010 рр. За результатами моделювання встановлено, що для стабілізації рівня води в лимані та запобігання виникненню багаторічних тенденцій його значного підвищення або зменшення, доцільно здійснювати скид у лиман вод зі станції біологічного очищення «Північна» протягом не більш 140 днів у травні-вересні, а в інші місяці року – в прилеглу акваторію Чорного моря.

Ключові слова: водний баланс, рівень води, моделювання, регулювання, Хаджибейський лиман, Чорне море.

1. ВСТУП

Одна з головних екологічних проблем Одеської агломерації, яка в черговий раз загострилася у 2015 р., пов'язана з функціонуванням станції біологічного очищення (СБО) «Північна» і відведенням від неї частково очищених стічних вод в Хаджибейський лиман з метою запобігання погіршенню якості морських вод в рекреаційних пляжних зонах м. Одеси [1].

Згідно з висновками Державної екологічної інспекції з охорони довкілля Північно-західного регіону Чорного моря викладеними у 2010 р. в довідці щодо «Проекту будівництва глибоководного випуску стічних та каналізаційних вод від СБО «Північна»», значний обсяг скинутих у море стічних вод з очисних споруд СБО «Північна» з низькою солоністю призводить до накопичення забруднюючих речовин у прибережних водах, значно погіршує мікробіологічні показники їх якості, що є основною причиною закриття органами санепіднагляду для водокористування пляжів цієї зони. За даними екологічного моніторингу морських вод, який на той час виконувався Інспекцією, встановлено, що концентрації забруднюючих речовин у морській воді в зоні впливу цього скиду перевищують фонові показники для Одеської затоки, особливо за мінеральними речовинами азотної групи та фосфатами.

Згідно інформації санітарно-епідеміологічної служби, оприлюдненої у 2011 р. після припинення скидів СБО «Північна» в Одеську затоку влітку, кількість нестандартних за бактеріологічними показниками проб зменшилась більш ніж

на 50 % (у 2005 р. їх було 13 %, у 2010 р. – 6 %).

З іншого боку, безперервний протягом 2011-2014 рр. скид вод СБО «Північна» в Хаджибейський лиман призвів до підвищення рівня води в ньому до небезпечної позначки +2,04 м БС у квітні 2015 р., що сприяло розмиву дамби, яка відділяє лиман від прилеглої території міста. Склалася загроза виникнення техногенної катастрофи, пов'язаної з проривом дамби та затопленням значної частини території м. Одеси площею 23 км², на якій проживають близько 30 тис. жителів міста та розташовані десятки підприємств.

Раніше критичне підвищення рівня води в Хаджибейському лимані спостерігалось у 1969 (до позначки +2,21 м БС) та 2003 (до +2,38 м БС) роках. Тоді скиди вод СБО «Північна» у лиман припинялись на 3-4 роки, виконувались інженерні заходи по укріпленню дамби та інтенсивна відкачка води з лиману у море. Це дозволило знизити рівень води в лимані у 1972 р. до позначки мінус 0,4 м БС та до меншої ніж +1,0 м БС – у 2007-2009 рр. В період 2010-2015 рр., незважаючи на відносну маловодість років, рівень води в Хаджибейському лимані постійно зростав у середньому на 0,2-0,3 м/рік, що є наслідком постійного протягом року надходження до нього скидних вод СБО «Північна».

Окрім вищевказаних випадків, рівень води в лимані також досягав позначки 2,0 м БС у 1985, 1989, 1992, 1995-96 рр.

В останні десятиріччя відбулися значні зміни як природних, так і антропогенних чинників, які формують водний баланс і мінливість рівня води

в Хаджибейському лимані. Тому актуальним є отримання оцінок внеску різних чинників у формування водного балансу лиману в сучасний період, які дозволять визначити найбільш ефективні заходи щодо стабілізації рівня води в ньому на безпечних позначках.

Мета роботи полягає у визначенні внесків різних природних і антропогенних чинників у формування водного балансу лиману в сучасних умовах та визначенні стратегії стабілізації рівня води в ньому.

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Хаджибейський лиман є непротічною, закритою водоймою, яка утворилась в результаті затоплення морем гирлової частини долини річки Малий Куяльник, з наступним відділенням її від моря пісочним пересипом (рис. 1). Водойма витягнута у північно-західному напрямку уздовж нормалі до берегової лінії моря. Південне узбережжя лиману знаходиться поблизу північної межі м. Одеси.

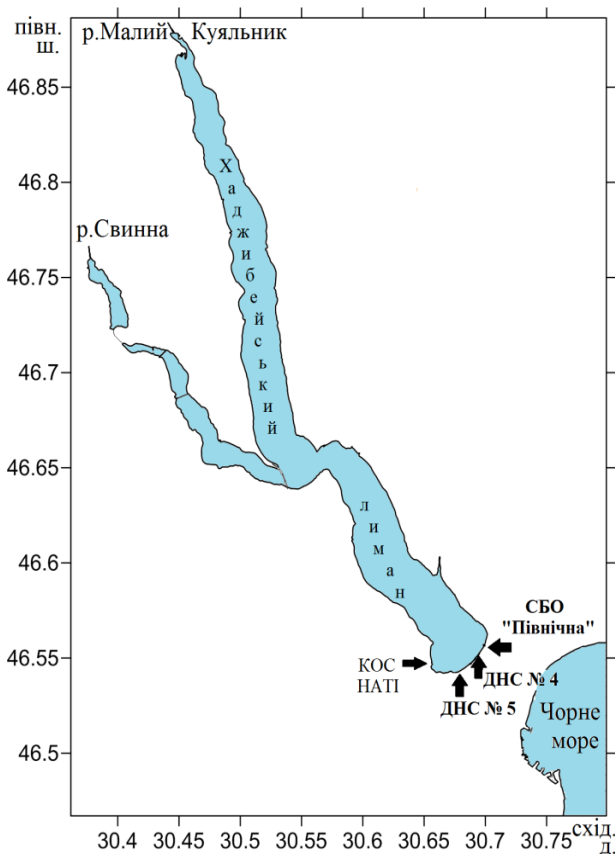


Рис. 1 – Карта-схема Хаджибейського лиману з розташуванням природних та антропогенних джерел надходження вод.

При відмітці рівня води в лимані +1,5 м БС об'єм його вод становить близько 729 млн. м³,

площа водної поверхні – 114 км², довжина – 40 км, ширина змінюється від 0,3 до 3,5 км. Середня глибина лиману становить 6,4 м, а максимальна – 17 м. Від моря лиман відділений пересипом шириною 4,5 км і довжиною 5 км.

Площа водозбору Хаджибейського лиману складає 2,7 тис. км². В лиман впадають річки Малий Куяльник та Свинна, з площами водозбору 1540 км² та 772 км², відповідно. За даними паспортів річок [2, 3], до 90-х років минулого століття норма природного стоку р. М. Куяльник складала 17,1 млн. м³, стік у маловодні роки із забезпеченістю 75 і 95 % становив, відповідно, 4,92 і 0,87 млн. м³/рік. Норма стоку р. Свинна складала 7,30 млн. м³, стік у маловодні роки із забезпеченістю 75 і 95 % становив 2,1 і 0,37 млн. м³, відповідно.

Систематичні спостереження за стоком річок не виконуються. Але відомо, що він значно зарегульований. Наприкінці 90-х років минулого століття загальна кількість ставків і водосховищ, які регулювали стік р. М. Куяльник, становила 21 шт. з сумарним об'ємом 7,72 млн. м³, а в басейні р. Свинна – 9 шт. з сумарним об'ємом 7,02 млн. м³. У сучасних умовах стік р. Свинна майже повністю затримується ставками, розташованими на її гирловій ділянці.

3. СТАН ВИВЧЕНОСТІ ЛИМАНУ

Опис гідрологічного режиму Хаджибейського лиману та особливостей мінливості його характеристик у ХХ столітті приведено в роботах [4–6]. Детальний аналіз багаторічної мінливості рівнів води в лимані за даними спостережень, починаючи з 60-х років ХХ ст., виконаний в [7]. В [8] оцінені значення відміток води в лимані при весняних повенях з розрахунковою ймовірністю настання 1 %, тобто повторюваністю 1 раз в 100 років. Показано, що за збігом можливих обставин, коли на максимальні рівні води весняної повені з ймовірністю перевищення 1 % накладається дощовий паводок такої ж виняткової забезпеченості, рівні води в Хаджибейському лимані можуть перевищити критичні позначки дамби (+3,1 м БС) і призвести до її руйнування та затоплення значної території м. Одеси.

Оцінки змін річного водно-сольового балансу лиману в період 1982-2001 рр., за умови відведення скидних вод з СБО «Північна» до моря, отримані в [8, 9]

Водно-балансові розрахунки з метою оцінки можливого переповнення Хаджибейського лиману на прикладі травня 2015 р. виконані в [10]. Можливість використання існуючих штучних

водоєм в гирловій ділянці річки Свинна для зниження рівня води в лимані, при його позначках вищих за +1,5 м БС, обговорювалась в [11].

На відміну від вище перелічених попередніх робіт, в представленому в даній статті дослідженні використані точні, виміряні щомісячні об'єми надходження в лиман скидних вод з антропогенних джерел в період 2005-2010 рр., які наведені в [12].

4. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВХІДНІ ДАННІ

4.1 Водний баланс лиману

Водний режим Хаджибейського лиману визначається як природними, так і антропогенними чинниками. До числа природних чинників відносяться: об'єми стоку річок Малий Куяльник та Свинна, кількість атмосферних опадів, які випадають на водне дзеркало лиману, та інтенсивність випаровування з нього.

Антропогенними чинниками, які значною мірою визначають мінливість рівня води в лимані, є надходження зворотних, частково очищених стічних вод м. Одеси з СБО «Північна», а також дренажних вод з полів зрошення від насосних станцій ДНС № 4, ДНС № 5 та з каналізаційних очисних споруд (КОС) «НАТІ» (с. Нерубайське Біляївського району) [12].

Розрахунки річної мінливості рівня води в Хаджибейському лимані виконувались із використанням рівняння водного балансу лиману

$$W^{t+\Delta t} = W^t + (W_P + W_R + W_{СБО} + W_{ДНС4} + W_{ДНС5} + W_{НАТІ} - W_E)\Delta t,$$

де Δt – розрахунковий крок рівняння у часі,

який дорівнював одній добі; $W^{t+\Delta t}$ – об'єм води в лимані наприкінці розрахункового відрізка часу Δt , млн. м³; W^t – об'єм води в лимані на початку розрахункового відрізка часу, млн. м³; W_P – об'єм атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману за час Δt , млн. м³; W_R – об'єм припливу води по водотоках з водозбірного басейну до лиману за час Δt , млн. м³; W_E – об'єм води, що випарився з водної поверхні лиману за час Δt , млн. м³; $W_{СБО}$ – об'єм скиду в лиман вод з СБО «Північна» за час Δt , млн. м³; $W_{ДНС4}$, $W_{ДНС5}$ – об'єми надходження в лиман дренажних вод, відповідно, від ДНС № 4 та ДНС № 5 за час Δt , млн. м³; $W_{НАТІ}$ – об'єм скиду в лиман вод з КОС «НАТІ» за час Δt , млн. м³.

На кожному розрахунковому кроці за часом визначався об'єм води в лимані наприкінці розрахункового періоду, який використовувався для розрахунку нової відмітки рівня води в лимані ξ , м БС, та площі його водної поверхні F , млн. м², із застосуванням функціональних залежностей $\xi = f(W)$ та $F = f(\xi)$ (рис. 2).

4.2 Вхідні данні

Для оцінки складових водного балансу лиману та їх змін, які відбулися в останні десятиріччя, використовувались середньомісячні значення даних спостережень за температурою і відносною вологістю повітря, а також місячні суми атмосферних опадів в період 1965-2015 рр. за даними гідрометеорологічної станції «Одеса-ГМО» (ГМС № 33837) [13].

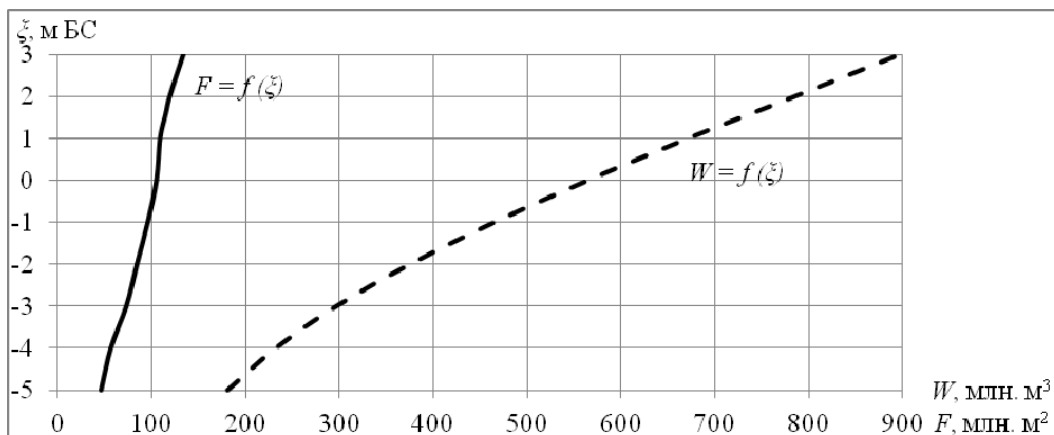


Рис. 2 – Криві залежностей об'єму (W) і площі (F) водного дзеркала лиману від відмітки рівня води в ньому.

Інформація про об'єми вод, які надходять до Хаджибейського лиману протягом року з антропогенних джерел – об'єктів «Інфоксводоканал»: СБО «Північна» (2005-2010 рр.), ДНС № 4, ДНС № 5, КОС «НАТІ» (2006, 2008, 2009 рр.), – була взята з [12]. Їх розташування показано на рис. 1.

Річний об'єм та внутрішньорічні гідрографи стоку (з місячною дискретністю) річок Малий Куяльник та Свинна в період до 1990 р. задавалися на підставі відомостей наведених в [2, 3].

4.3 Оцінка змін річного водного балансу лиману, викликаних кліматичними чинниками

В останні десятиріччя, починаючи з кінця 80-х років ХХ століття [14], на території України спостерігаються суттєві зміни клімату та водних ресурсів [15-17]. У Північно-Західному Причорномор'ї прояв глобального потепління характеризується зростанням посушливості та відповідним зменшенням припливу прісних вод до лиманів від річок та тимчасових водотоків, розташованих на їх водозборі. Зростання температур повітря та зменшення його відносної вологості викликають збільшення випаровування як з водної поверхні лиману, так і з поверхні водозбору. Найбільш негативні наслідки ці зміни мають для тих лиманів, які в даний час втратили природний зв'язок з морем і на водозборі яких ведеться інтенсивна водогосподарська діяльність. Оскільки до числа таких лиманів відноситься і Хаджибейський лиман, то безсумнівний інтерес представляє визначення змін складових його водного балансу, які відбулися внаслідок кліматичних змін.

Оцінка змін річного водного балансу лиману, викликаних кліматичними чинниками, виконувалась порівнянням їх середньомісячних значень отриманих осередненням за періоди часу до початку кліматичних змін (1965–1990 рр.) та після них (1991–2015 рр.). Оскільки спостереження за стоком р. Малий Куяльник не виконуються, то для періоду 1991-2015 рр., на підставі даних та оцінок наведених в [15, 17], було прийняте припущення, що її стік внаслідок кліматичних змін зменшився на 47 % порівняно з періодом до 1990 р. Також вважалося, що у сучасний період лиман не одержує стік від річки Свинна, яка дуже зарегульована і має на водозборі багато емних, у порівнянні з її стоком, ставків [18].

При розрахунках об'ємів води, які надходять до лиману з атмосферними опадами та випаро-

вуються з нього, площа водного дзеркала лиману приймалася рівною 114,9 км², що відповідає відмітці його водної поверхні 1,6 м БС.

Місячні об'єми випаровування з водної поверхні лиману розраховувались за методикою, наведеною в [15], на підставі даних щодо середньомісячних значень температури і відносної вологості повітря.

На рис. 3 показана внутрішньорічна мінливість багаторічних середньомісячних значень гідрометеорологічних чинників, які формують водний баланс Хаджибейського лиману: шару атмосферних опадів, температури повітря, шару випаровування, витрат р. М. Куяльник. Видно, що описані вище прояви глобального потепління притаманні й басейну Хаджибейського лиману.

Відзначається підвищення температури повітря майже у всі місяці року, що призводить до відповідного збільшення випаровування з водної поверхні лиману і зменшення притоку вод р. М. Куяльник у лиман.

Атмосферні опади зменшились у квітні-липні і грудні-лютому, а в інші місяці року, навпаки, зросли. Річна сума атмосферних опадів майже не змінилась.

Отримані оцінки природних складових річного водного балансу Хаджибейського лиману представлені в табл. 1. З наведених оцінок витікає, що навіть до початку кліматичних змін природний річний водний баланс лиману був від'ємним з дефіцитом 20,1 млн. м³/рік. Але, внаслідок зміни кліматичних умов, в останні десятиріччя дефіцит річного водного балансу збільшився вдвічі – до 41,0 млн. м³.

Таблиця 1 – Зміни природних складових річного водного балансу Хаджибейського лиману внаслідок змін клімату

Складові річного водного балансу, млн. м ³	1965-1990 рр.	1991-2015 рр.
Прибуткові:		
Об'єм стоку р. Малий Куяльник (50 % забезпеченості)	11,8	6,29
Об'єм стоку р. Свинна (50 % забезпеченості)	5,07	0
Об'єм атмосферних опадів	54,7	54,9
Витратні:		
Об'єм випаровування	91,7	102,23
Дефіцит водного балансу	20,13	41,04

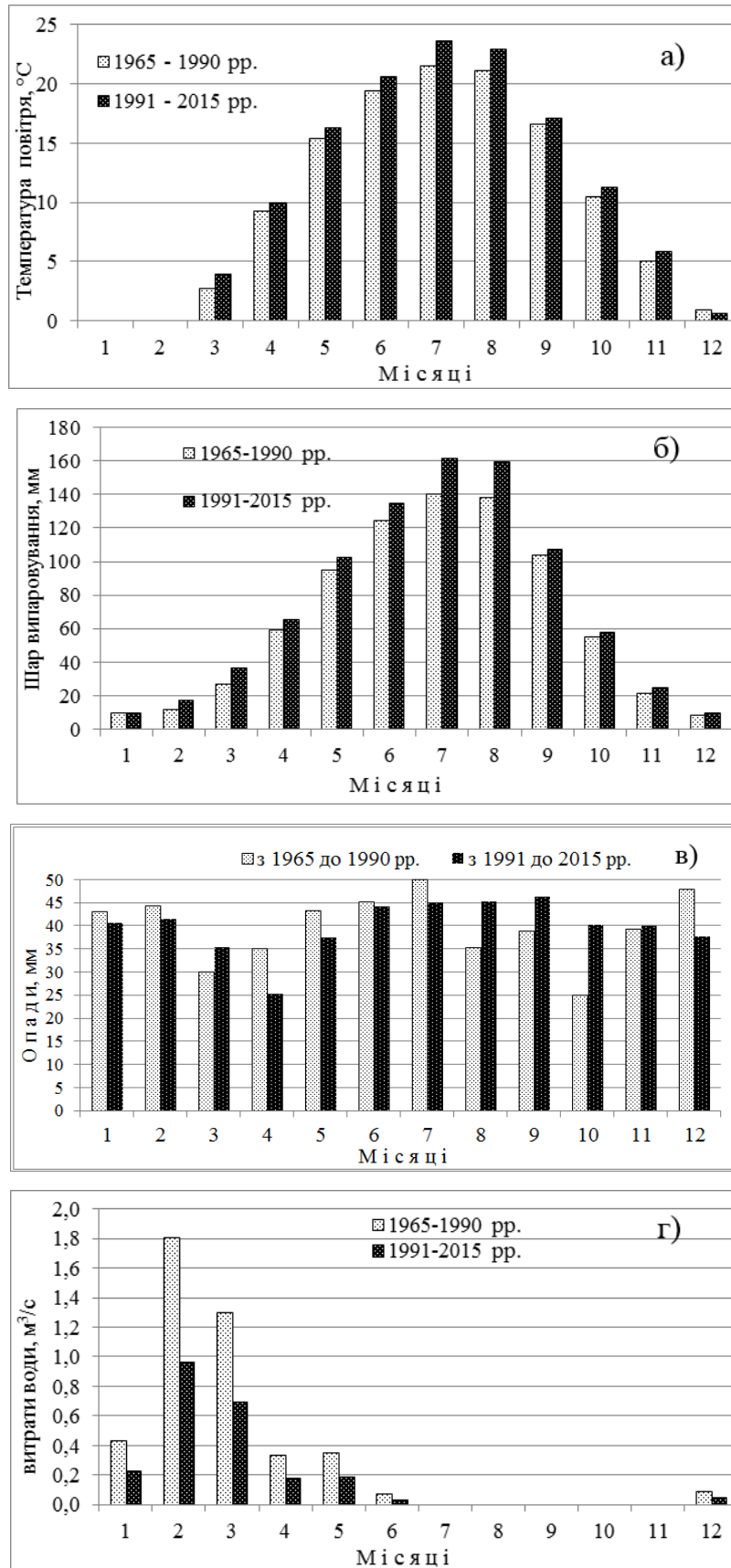


Рис. 3 – Внутрішньорічна мінливість середніх багаторічних значень: **а)** середньомісячної температури повітря, °C; **б)** місячних шарів випаровування, мм, з поверхні лиману; **в)** місячних шарів атмосферних опадів, мм; **г)** середньомісячних витрат води р. М. Куяльник, м³/с, – у періоди до та після початку кліматичних змін.

4.4 Надходження до лиману вод від антропогенних джерел

Відомості про мінливість річних об'ємів стічних вод, які виходили з очисних споруд СБО «Північна» протягом першого десятиріччя ХХІ ст., наведені в [1, 19]. З початку сторіччя поступово відбувалося зменшення надходження стічних вод м. Одеси до очисних споруд СБО «Північна» і, відповідно, на виході з них. Якщо у 2000 р. цей об'єм складав близько 95 млн. м³/рік, то у 2005 р. – 84,9 млн. м³/рік [19], у 2009 р. – 76,2 млн. м³/рік [12], у 2014–2015 рр. – близько 54,8 млн. м³/рік. Значне зменшення в останні роки об'ємів скиду вод з СБО зумовлено підвищенням вартості води для споживачів.

Згідно [12], усереднені за 2006, 2008, 2009 рр. річні об'єми припливу вод до Хаджибейського лиману від ДНС № 4, ДНС № 5 і КОС «НАТІ» дорівнювали, відповідно, 4,13, 16,02 та 0,075 млн. м³/рік, що в сумі складає 20.23 млн. м³/рік. У припущенні, що приплив до лиману вод від вказаних джерел протягом останніх років не змінювався, то він майже втричі перевищує стік річки Малий Куяльник і компенсує половину річного дефіциту водного

балансу лиману. Отже, для запобігання виникненню багаторічної тенденції підвищення рівня води в Хаджибейському лимані у сучасних кліматичних умовах, в середній за водністю рік СБО «Північна» повинна здійснювати скиди води в лиман у обсягах не більше 21 млн. м³/рік.

5. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ РІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ РІВНЯ ВОДИ В ЛИМАНІ ЗА МОДЕЛЛЮ ВОДНОГО БАЛАНСУ

5.1 Верифікація моделі водного балансу

Верифікація моделі водного балансу лиману проводилась за умов 2006, 2009 рр., для яких були наявні дані щодо місячних об'ємів надходження до нього вод від антропогенних джерел: СБО «Північна», ДНС № 4, ДНС № 5 і КОС «НАТІ» [12] (рис. 4, 5 а, в). Окрім гідрометеорологічних умов, вказані роки відрізняються режимами надходження в лиман скидів з СБО «Північна». У 2006 р. скид води з СБО в лиман не відбувався (цілорічно вівся в Одеську затоку Чорного моря), а в 2009 р. – протягом січня і з травня до кінця року.

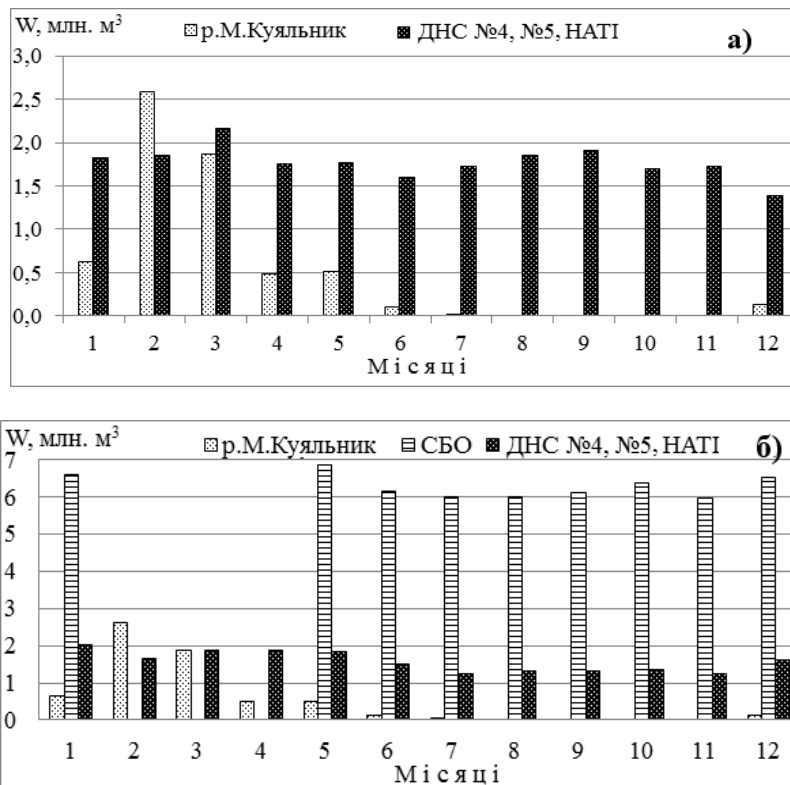


Рис. 4 – Щомісячні об'єми надходження до Хаджибейського лиману стоку р. М. Куяльник і скидів з антропогенних джерел у 2006 (а) та 2009 (б) роках

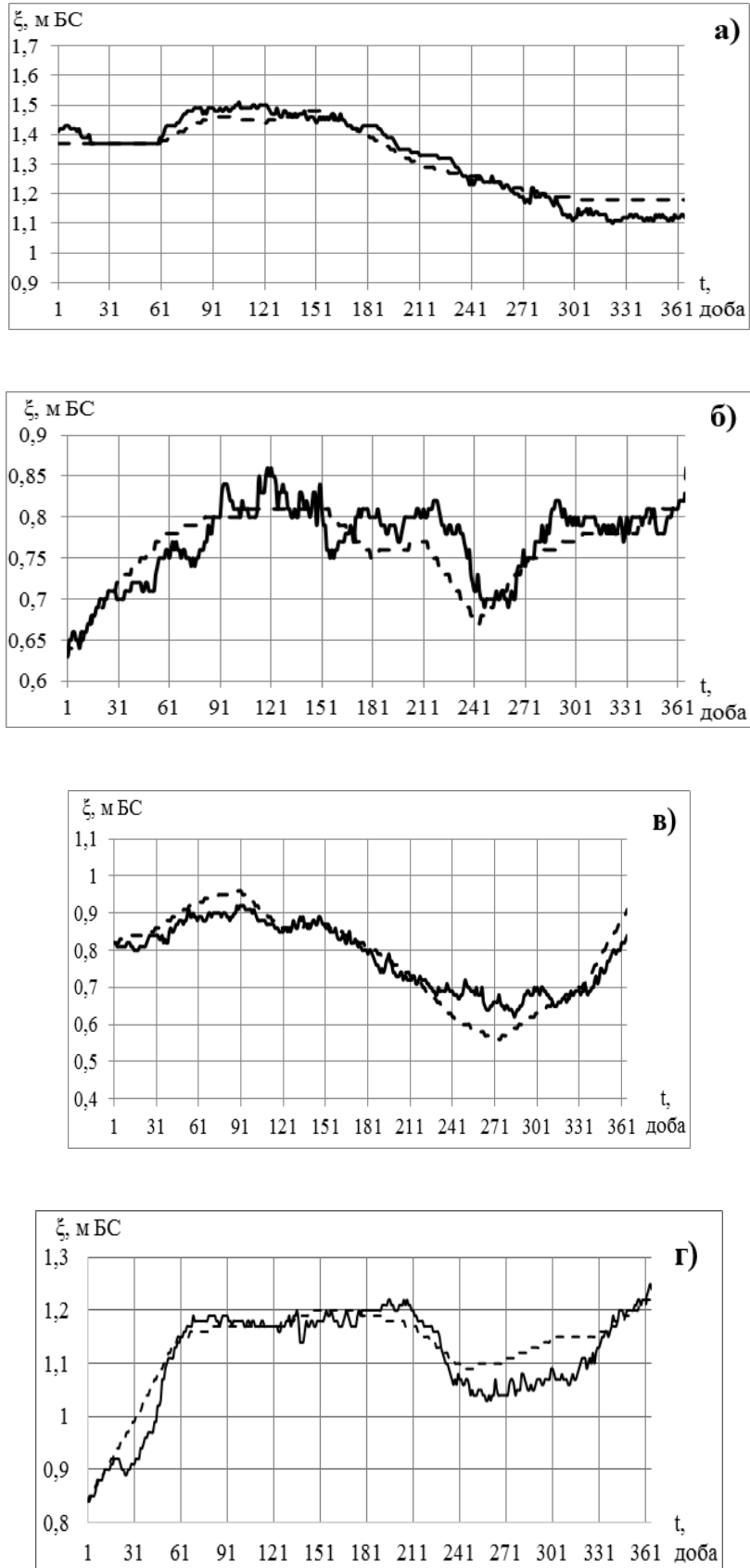


Рис. 5 – Мінливість відміток рівня води в Хаджибейському лимані, м БС (фактична —; змодельована - - -) за умов: а) 2006 р.; б) 2008 р.; в) 2009 р.; г) 2010 р.

Додатково проводились розрахунки річної мінливості рівня води в лимані у 2008 та 2010 рр. (рис. 5 б, г), для яких були відомі часові відрізки та об'єми надходження до лиману скидних вод з СБО «Північна», але відсутні (2008 р.) або лише частково представлені (2010 р. – перше півріччя) дані спостережень за надходженням вод з інших антропогенних джерел. У місяці, для яких були відсутні вищевказані дані, задавалися об'єми скидів, які спостерігались у 2009 р. Надходження вод з СБО до лиману відбувалося у 2008 р. – в січні-лютому та з травня до кінця року, а в 2010 р. – з січня до 8 березня та з 15 травня до 8 вересня.

Щомісячні шари атмосферних опадів у вказані роки, а також середньомісячні значення температури і відносної вологості повітря (для розрахунку шару випаровування за кожен місяць) задавалися на підставі даних спостережень на ГМС «Одеса-ГМО» [13] у відповідні роки.

Розрахована за моделлю водного балансу внутрішньорічна мінливість рівня води в лимані порівнювалась з даними спостережень на водосту «Усатове» у відповідні роки.

Наведені на рис. 5 результати розрахунків свідчать, що модель правильно відображає вплив чинників, які формують водний баланс Хаджибейського лиману, на внутрішньорічну мінливість рівня води у ньому і може бути використана для вивчення різних сценаріїв водного менеджменту, спрямованих на стабілізацію річного циклу мінливості рівня води в лимані та запобігання виникненню багаторічних тенденцій його значного підвищення або зменшення.

5.2 Моделювання річної мінливості рівня води в лимані за різних умов надходження скидних вод з антропогенних джерел

Модель водного балансу Хаджибейського лиману використовувалась для оцінки впливу надходження до нього скидів води з антропогенних джерел, зокрема СБО «Північна», на мінливість рівня води. Розрахунки виконувались для середніх в період 1991-2015 рр. гідрометеорологічних умов. Використовувались осереднені за вказаний період середньомісячні значення інтенсивності атмосферних опадів, випаровування. Стік річки р. М. Куяльник приймався відповідним 50 % забезпеченості в сучасних кліматичних умовах. Вважалось, що надходження вод з ДНС №4, №5 і КОС «НАТІ» дорівнює осередненим помісячно спостереженим в період 2006-2010 рр. значенням. В середньому, протягом року добовий об'єм скиду вод з СБО «Північна» приймав-

ся рівним 150 тис. м³/добу (відповідає останнім рокам). Помісячний його розподіл протягом року задавався відповідним спостереженому у 2006-2010 рр.

Розглядалися наступні варіанти режимів надходження вод з антропогенних джерел до Хаджибейського лиману:

а) скид вод в лиман з антропогенних джерел, включно з СБО «Північна», здійснюється безперервно протягом всього року;

б) скид вод в лиман з антропогенних джерел зовсім не здійснюється, всі скидні води відводяться до моря;

в) протягом всього року скидні води СБО «Північна» відводяться до моря, а інші антропогенні джерела скидають воду в лиман;

г) скид води в лиман з СБО «Північна» відбувається протягом травня-вересня, а в інші місяці року – в море; інші антропогенні джерела скидають воду в лиман протягом всього року.

Результати розрахунків річних коливань рівня води в лимані для визначених вище варіантів наведені на рис. 6.

При співставленні результатів розрахунків за різними варіантами режимів надходження вод з антропогенних джерел до Хаджибейського лиману видно, що у разі безперервного протягом року скиду води в лиман зі всіх антропогенних джерел, включно з СБО «Північна», (варіант «а») рівень води в ньому кожен рік буде підвищуватись у середньому на 0,20-0,25 м, що за 10 років призведе до сумарного підвищення на 2,0-2,5 м. Ця оцінка співпадає з середніми темпами підвищення рівня води в лимані в період 2011 - 2014 рр., коли скид вод СБО «Північна» в лиман здійснювався безперервно.

Якщо зовсім не здійснювати скиди води з антропогенних джерел в лиман, а відводити їх до моря (варіант «б»), то кожен рік рівень води в лимані буде знижуватись в середньому на 0,4 м. Отже за 10 років рівень води в лимані може знизитись на 4,0 м. При відведенні скиду стічних вод з СБО «Північна» до моря протягом всього року (варіант «в»), падіння рівня води в лимані буде вдвічі меншим (-0,2 м/рік) порівняно з варіантом «б». Стабілізація річного циклу коливань рівня води в Хаджибейському лимані відбувається лише у разі реалізації варіанту «г» (рис. 6, крива 4), за яким скид в лиман вод, що надходять від СБО «Північна», здійснюється лише у травні-вересні кожного року, тобто в курортний сезон. В цьому випадку позначки рівня води в лимані на початку і наприкінці року відрізняються лише на декілька сантиметрів.

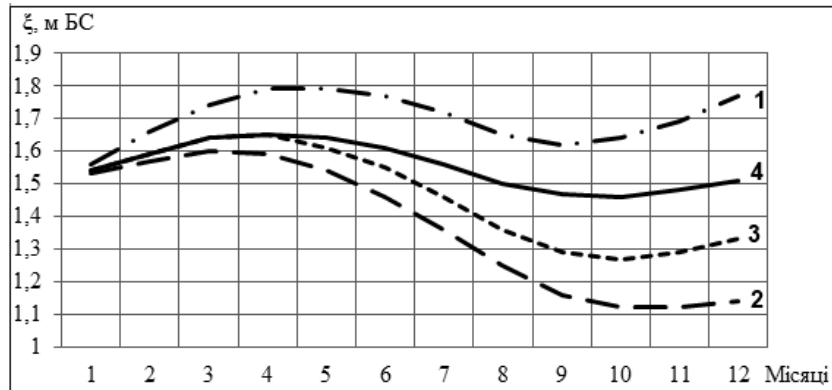


Рис. 6 – Розрахована за моделлю водного балансу річна мінливість рівня води в Хаджибейському лимані, м БС, для різних варіантів режимів надходження до нього вод з антропогенних джерел: 1 – варіант «а»; 2 – варіант «б»; 3 – варіант «в»; 4 – варіант «г».

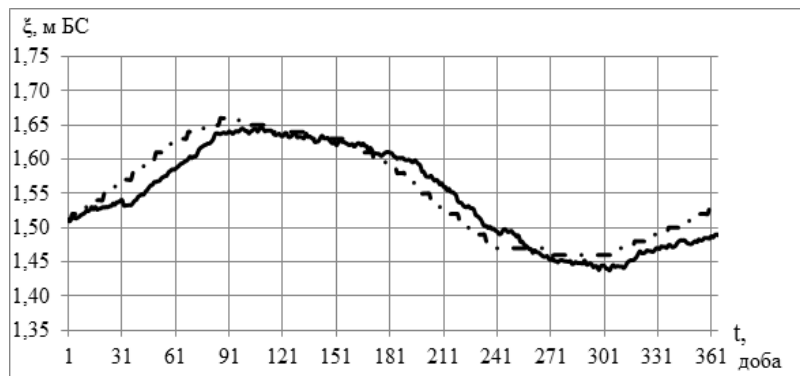


Рис. 7 – Мінливість рівня води в Хаджибейському лимані, м БС, розрахована за моделлю водного балансу для середніх в період 1991-2015 рр. гідрометеорологічних умов (—) та отримана осередненням за той же період спостережень на водпосту «Усатове» середньодобових значень відміток рівня води (- · -)

Зважаючи на те, що, як було показано раніше, у сучасних кліматичних умовах для компенсації річного дефіциту водного балансу лиману СБО «Північна» повинна здійснювати скиди води до нього із загальним об'ємом не більше 21 млн. м³ в середній за водністю рік, то при витратах у 150 тис. м³/добу тривалість надходження скидних вод до лиману не повинна перевищувати 140 діб.

З рис. 7 видно, що річна мінливість відміток рівня води в лимані, розрахована за варіантом «г» з використанням середніх багаторічних за період 1991-2015 рр. щомісячних значень природних складових водного балансу лиману (об'ємів річкового стоку, випаровування, атмосферних опадів) та сучасних обсягів надходження до лиману скидних вод з антропогенних джерел, добре узгоджується з фактичною річною мінливістю рівня, отриманою помісячним осередненням даних спостережень за рівнем на водпосту «Усатове» у відповідний період. Це дозволяє зробити висновок, що вклад різних чинників у

формування водного балансу лиману у сучасний період визначений вірно, а режим скидів води з СБО «Північна», визначений у варіанті «г», забезпечує стабілізацію рівня води в лимані у багаторічному часовому масштабі.

6. ВИСНОВКИ

Внаслідок зміни кліматичних умов дефіцит річного водного балансу Хаджибейського лиману збільшився порівняно з періодом до початку їх прояву (до 1990 р.) вдвічі – з 20,1 до 41,0 млн. м³/рік. В сучасний період надходження до лиману вод від ДНС №4, №5 майже втричі перевищує стік р. М. Куяльник і компенсує половину річного дефіциту водного балансу лиману. В той же час, в останнє десятиріччя, внаслідок підвищення вартості води для споживачів, значно зменшилися об'єми скиду вод з СБО «Північна» – з 84,9 млн. м³/рік у 2005 р. до 54,8 млн. м³/рік у 2014–2015 рр.

На підставі отриманих оцінок природних і

антропогенних складових водного балансу Хаджибейського лиману та моделювання річної мінливості рівня води із застосуванням моделі водного балансу встановлено, що у сучасних кліматичних умовах для стабілізації рівня води в лимані та запобігання виникненню багаторічних тенденцій його значного підвищення або зменшення, в середній за водністю рік СБО «Північна» повинна здійснювати скид води у лиман (з витратою 150 тис. м³ на добу) не більше 140 діб на рік, протягом травня-вересня, а в інші місяці року – в Чорне море.

Якщо зовсім не здійснювати скид води з антропогенних джерел в лиман, а відводити їх до моря, то кожен рік рівень води в лимані буде знижуватись в середньому на 0,40 м і протягом 10 років може знизитись на 4 м.

У разі безперервного протягом року скиду вод з СБО «Північна» та інших антропогенних джерел в лиман, рівень води в ньому кожен рік буде підвищуватись в середньому на 0,2 м і за 10 років може підвищитись на 2 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тучковенко Ю. С., Иванов В. А., Сапко О. Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря: моногр. / Морской гидрофиз. ин-т НАНУ; Од. гос. эколог. ун-т. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 169 с.
2. Паспорт реки Малый Куяльник / Укрюжгипроводхоз. Одесса, 1992. 130 с.
3. Паспорт реки Свиная / Укрюжгипроводхоз. Одесса, 1992. 62 с.
4. Розенгурт М. Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов: монография. Киев: Наукова думка, 1974. 224 с.
5. Тимченко В. М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья: монография / Ин-т гидробиологии АН УССР. Киев: Наукова думка, 1990. 240 с.
6. Лиманы Северного Причерноморья / В. С. Полищук, Ф. С. Замбриборщ, В. М. Тимченко и др.; отв. ред. О. Г. Миронов; Ин-т гидробиологии АН УССР. Киев: Наукова думка, 1990. 204 с.
7. Шакірянна Ж. Р. Оцінка стану Хаджибейського лиману та прогнозування можливих рівнів води у ньому // Український гідрометеорологічний журнал. 2015. № 16. С. 156-163. <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/category/2015-uk/16-uk/>
8. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: коллект. монография / под ред. Ю. С. Тучковенко, Е. Д. Гопченко; Од. гос. экол. ун-т. Одесса: ТЕС, 2012. 224 с.
9. Водний баланс Хаджибейського лиману за різних умов його існування: Звіт з НДР заключний (наук. кер. Є. Д. Гопченко) // База даних УкрНТЕІ, бібл. Од. держ. еколог. ун-ту. ДР № 0111U010352, 2011. 86 с.
10. Гриб О. М. Методика оцінки можливого переповнення Хаджибейського лиману-водосховища (на прикладі травня 2015 року) // Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 18-20 листоп. 2015 р.). Одеса: ТЕС, 2015. С. 34-37.
11. Гриб О. М. Про можливість використання існуючих штучних водойм в гирловій ділянці річки Свинна для зниження рівня води у Хаджибейському лимані при позначках рівня води вищих за 1,5 м БС // Природно-ресурсний потенціал Куяльницького та Хаджибейського лиманів, території міжлимання: сучасний стан, перспективи розвитку: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 18-20 листоп. 2015 р.). Одеса: ТЕС, 2015. С. 37-39.
12. Проект предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ, отводимых с возвратными водами предприятий филиала «Инфоксводоканал» во внутренние морские воды Черного моря и реку Днестр / ГП УкрНИИМФ. Одесса, 2010. 209 с.
13. Архів погоди в Одесі (1965-2015 рр.). Метеостанція № 33837 (WMO ID). URL: <http://www.tutiempo.net> (дата звернення: 15.04.2016).
14. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): монографія. Київ: Ніка-центр, 2010. 316 с.
15. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: монографія / Ю. С. Тучковенко, Н. С. Лобода, О. М. Гриб та ін.; Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Ю. С. Тучковенко, Н. С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 277 с.
16. Лобода Н. С., Сербова З. Ф., Божок Ю. В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) // Український гідрометеорологічний журнал. 2014. № 15. С. 149-159. <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/category/2014-uk/15-uk/>
17. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Водні ресурси України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5) // Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17. С. 117-122 <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/category/2016-uk/17-uk/>
18. Оцінка гідроекологічного стану верхньої частини Хаджибейського лиману від с. Єгоровка до с. Алтестове та розробка рекомендацій по поліпшенню водного режиму та відновленню її біологічних ресурсів. Звіт з НДР заключний (наук. кер. Н. С. Лобода). База даних УкрНТЕІ, бібл. Од. держ. еколог. ун-ту. ДР № 0111U010351, 2011. 263 с.
19. Сапко О. Ю., Тучковенко Ю. С. Тенденції в изменении антропогенной нагрузки на прибрежные воды Одесского района северо-западной части Черного моря // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2010. Вип. 9. С. 173-177. <http://bulletin.odeku.edu.ua/category/2010/9/>

REFERENCES

1. Tuchkovenko Yu. S., Ivanov V. A., Sapko O. Yu. *Otsenka vliyaniya beregovykh antropogennykh istochnikov na kachestvo vod Odesskogo rayona severo-zapadnoy chasti Chernogo morya* [Assessment of coastal anthropogenic sources impact on water quality in north-western part of Black Sea near Odessa]. Marine Hydrophysical Institute of NASU; Odessa State Environmental University. Sevastopol, 2011. 169 p.
2. *Passport of The Malyy Kuyal'nik River*. State Design-Research Institute "Ukrpivdendiprovdhos". Odessa, 1992. 130 p. (In Russian)

3. *Passport of The Svinaya River*. State Design-Research Institute "Ukrpivdendiprovodhosp". Odessa, 1992. 60 p. (In Russian)
4. Rozengurt M. Sh. *Gidrologiya i perspektivy rekonstruktsii prirodnykh resursov Odesskikh limanov* [Hydrology and Prospects for Natural Resources Rearrangement in the Lagoons of the Odessa Region]. Kiev: Naukova dumka, 1974. 224 pp.
5. Timchenko V. M. *Ekologo-gidrologicheskie issledovaniya vodoemov Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya* [Environmental and Hydrological Researches into the Water Bodies in the North-Western Black Sea Region]. Institute of Hydrobiology of NASU. Kyev: Naukova Dumka, 1990. 240 p.
6. Polischuk V. S., Zambriborsch F. S., Timchenko V. M. et al. *Limany Severnogo Prichernomor'ya* [Limans of Northern Black Sea Regions]. Kiev, Naukova dumka, 1990. p. 204.
7. Shakirzanova Zh. R. Assessment of Hadzhibeysky estuary and forecasting possible water level in it. *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukr. hydrometeor. J.*, 2015, no. 16, pp. 156-163. <http://uhmj.odeku.edu.ua/en/category/2015-en/16-en/>. (In Ukrainian)
8. *Aktual'nye problemy limanov severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Actual problems of estuaries of North-Western Black Sea Region]. Odessa, 2012. 224 p. (Eds: Yu. S. Tuchkovenko, E. D. Gopchenko).
9. Water balance of Khadzhibei estuary under various conditions of its existence: Final research report (Research leader Ye. D. Gopchenko). *Database of the State Scientific Organisation "Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information", library of Odessa State Environmental University*, State registration no. 0111U010352, 2011. 86 p. (In Ukrainian)
10. Grib O. M. Methodology of assessment of probable overflow of Khadzhibei estuary - reservoir (by the example of May of 2015). *Natural resource potential of Kuyalnik and Khadzhibei estuaries, the territory between the estuaries: Modern state, outlook of development: Proceedings of All-Ukrainian theoretical and practical conference (Odessa, 18-20 November 2015)*. Odessa: TES, 2015, pp. 34-37. (In Ukrainian)
11. Grib O. M. On possibility of use of the existent artificial reservoir in the mouth of the Svylna river for a decrease in the water level in Khadzhibei estuary for water level tag higher than 1.5 m BS. *Natural resource potential of Kuyalnik and Khadzhibei estuaries, the territory between the estuaries: modern state, outlook of development: Proceedings of All-Ukrainian theoretical and practical conference (Odessa, 18-20 November 2015)*. Odessa: TES, 2015, pp. 37-39. (In Ukrainian)
12. *A project of maximum permissible discharge of pollutants, exported with the returned water from the enterprises of an "INFOXVODOKANAL" affiliated branch into the internal sea water area of the Black Sea and the Dniestr river*. State Scientific Organisation "The Research and Development Institute of the Merchant Marine of Ukraine". Odessa, 2010. 209 p. (In Russian)
13. Weather archive in Odessa (1965-2015). Meteorological stations № 33837 (WMO ID). <http://www.tutiempo.net> (accessed 15 April 2016). (In Ukrainian)
14. Grebin V. V. *Suchasnyy vodnyy rezhym richok Ukrayiny (landshaftno-hidrolohichnyy analiz)* [The modern water conditions of Ukrainian rivers (landscape-hydrological analysis)]. Kyiv, 2010. 316 p.
15. Tuchkovenko Yu. S., Loboda N. S., Gryb O. M. et al. *Vodni resursy ta hidroekologichnyy stan Tyligul's'koho lymanu* [Water resources and hydroecological conditions of the Tyligul'skyi Liman Lagoon]. Odessa: TES, 2014, 277 p. (Eds: Yu. S. Tuchkovenko, N. S. Loboda)
16. Loboda N. S., Serbova Z. F., Bozhok Yu. V. Impact of climate change on water resources of Ukraine in present and future conditions (under scenarios of global warming A1B). *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukr. hydrometeor. J.*, 2014, no. 15, pp. 149-159. <http://uhmj.odeku.edu.ua/en/category/2014-en-2/15-en-2/> (In Ukrainian)
17. Loboda N. S., Bozhok Yu. V. Water resources of Ukraine in the XXI century under climate change scenarios (RCP4.5 and RCP8.5). *Ukr. gidrometeorol. ž. – Ukr. hydrometeor. J.*, 2016, no. 17, pp. 117-122. <http://uhmj.odeku.edu.ua/en/category/2016-en/17-en/> (In Ukrainian)
18. Assessment of hydroecological state of the upper part of Khadzhibei estuary from Yegorovka to Altestove and development of recommendation on improvement of water regime and renovation of its biological resources. Final research report (research leader N.S. Loboda). *Database of the State Scientific Organisation "Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information", library of Odessa State Environmental University*, State registration № 0111U010351, 2011. 263 p. (In Ukrainian)
19. Sapko O. Yu., Tuchkovenko Yu. S. Tendencies in change of anthropogenic loading on off-shore waters of Odessa district of north-western part of Black Sea. *Visn. Odes. derž. ekol. Univ. - Bull. of OSENU*, 2010, vol. 9, pp. 173-177. <http://bulletin.odeku.edu.ua/en/category/2010-en/9-en/> (In Russian)

CURRENT WATER BALANCE OF KHADZHIBEYSKYI LIMAN

Yu. S. Tuchkovenko, Prof., Dr. Sci (Geogr.),
M. O. Kozlov, Master of Oceanology

*Odessa State Environmental University,
 15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, science@odeku.edu.ua*

The article evaluates inputs of various natural and anthropogenic factors to the formation of water balance of Khadzhibeyskyi Liman under the present-day conditions. We discovered that in the latest decades, due to climate changes, annual deficiency in the liman's natural water balance

doubled. In order to compensate this deficiency the liman should be replenished with water from anthropogenic sources, the most significant of which include discharge from the Pivnichna biological treatment plant and two drainage pump stations.

Study of anthropogenic factors' impact on annual variability of the liman's water level was carried out using a water balance model verified based on observations conducted in 2006-2010. Based on the modelling results it was found that in order to stabilize the liman's water level and to prevent existence of long-term tendencies of its significant increase or decrease, it is expedient to discharge water from the Pivnichna biological treatment plant into the liman in May-September. During other months water can be discharged into adjacent water area of the Black Sea. In case no water discharge from anthropogenic sources is initiated but disposed into the sea instead, the yearly decline of the liman's water level would be equal to 0.40 m on an average. Continual over-the-year water discharge from the Pivnichna biological treatment plant and other anthropogenic sources into the liman would ensure a yearly average water level rise of 0.2 m.

Keywords: water balance, water level, modelling, regulation, Khadzhibeyskyi Liman, the Black Sea.

ВОДНЫЙ БАЛАНС ХАДЖИБЕЙСКОГО ЛИМАНА В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Ю. С. Тучковенко, д-р геогр. наук, проф.,
М. А. Козлов, магистр океанологии

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, science@odeku.edu.ua*

Получены оценки вкладов различных природных и антропогенных факторов в формирование водного баланса Хаджибейского лимана в современных условиях. Установлено, что в результате изменений климата, которые происходят в последние десятилетия, годовой дефицит природного водного баланса лимана увеличился вдвое. Для его компенсации необходимо пополнять лиман водой из антропогенных источников. Исследование влияния антропогенных факторов на внутригодовую изменчивость уровня воды в лимане выполнено с использованием модели водного баланса, верифицированной по данным наблюдений, выполненных в период 2006-2010 гг. В результате моделирования установлено, что для стабилизации уровня воды в лимане и предотвращения возникновения многолетних тенденций его значительного роста или падения, целесообразно осуществлять сброс в лиман вод со станции биологической очистки «Северная» в течение мая-сентября, а в другие месяцы года – в прилегающую акваторию Черного моря.

Ключевые слова: водный баланс, уровень воды, моделирование, регулирование, Хаджибейский лиман, Черное море.

*Дата першого подання: 14. 04. 2017
Дата надходження остаточної версії: 15. 05. 2017
Дата публікації статті: 29. 06. 2017*