

УДК 502.1:574.4:004.359

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2021.2.15>

ОЦІНКА ЗМІН ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ ПІД ДІЮ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ

¹Тучковенко О.А. – старший викладач,

^{1,2}Тучковенко Ю.С. – д.геогр.н., професор,

¹Одеський державний екологічний університет,

²Інститут морської біології НАН України,

oxatuch2020@ukr.net

В роботі розглядається проблема оцінки впливу очікуваних у XXI столітті змін клімату в північно-західному Причорномор'ї на внутрішньорічну мінливість характеристик гідроекологічного режиму Тилігульського лиману, у разі підтримання протягом року його постійного зв'язку з морем через реконструйований канал «море-лиман». Оцінка виконана із застосуванням числової математичної моделі евтрофікації вод. Моделювання виконувалось за гідрометеорологічних умов типових років різної водності кліматичних періодів 1990-2030, 2031-2070, 2071-2100 рр., які визначалися за найбільш вірогідним для регіону кліматичним сценарієм з бази даних ENSEMBLES, що відповідає глобальному сценарію A1B розрахованому за моделлю MPI-REMO. За результатами моделювання встановлено, що протягом XXI ст. слід очікувати підвищення середньорічних значень температури води в лимані від 1.6°C у середні за водністю роки до 3.7°C у багатоводні роки і 4.2°C у маловодні роки. Підвищення середніх значення температури води влітку буде більшим: від 3.2°C у середні за водністю роки до 5.3°C у багатоводні роки і 5.8°C у маловодні роки. Через збільшення випаровування і значне зменшення об'ємів річкового стоку в лиман відбудеться зростання надходження до нього морських вод через сполучний канал «море-лиман», які є джерелом додаткового надходження до лиману мінеральних форм азоту і можуть призводити до зростання первинної продукції органічної речовини фітопланктоном в південній частині лиману. Зростання температури води призведе до збільшення інтенсивності продукційно-деструкційних процесів у воді та донних відкладах лиману і, як наслідок, погіршення кисневого режиму лиману та поглиблення гіпоксії в придонному шарі вод влітку, особливо в маловодні роки. В усі кліматичні періоди XXI ст. у травні-вересні маловодним рокам притаманні підвищені значення температури води, біомаси фітопланктону, концентрації органічної речовини в водах лиману, а багатоводним рокам – навпаки, відносно низькі значення цих показників. Зроблений висновок про те, що визначені головні тенденції можливих змін характеристик гідроекологічного режиму Тилігульського лиману протягом XXI ст. можуть бути поширені на інші закриті лимани північно-західного Причорномор'я.

Ключові слова: північно-західне Причорномор'я, зміна клімату, Тилігульський лиман, гідроекологічний режим, моделювання

Постановка проблеми. Тилігульський лиман, розташований на території північно-західного Причорномор'я ($46^{\circ} 39,3' - 47^{\circ} 05,3'$ пв.ш., $30^{\circ} 57,3' - 31^{\circ} 12,7'$ сх.д.), є унікальною природною системою з численними природними ресурсами, які можуть бути використані для соціально-економічного розвитку прилеглих територій Одеської та Миколаївської областей України в сферах рекреації, екологічного туризму, охорони здоров'я, аквакультури та регламентованого рибальства [1]. Зокрема, лиман включений до території двох регіональних ландшафтних парків в межах Одеської та Миколаївської областей. Найближчим часом є наміри створення на їх основі Національного природного парку «Тилігульський». Також лиман включений до переліку ІВА-територій і міжнародного списку Рамсарської конвенції про захист водно-болотних угідь. В ньому розташоване одне з найбільших в Причорномор'ї родовище мінеральних лікувальних магнієво-натрієвих мулових грязей.

В останні десятиріччя в північно-західному Причорномор'ї відбуваються суттєві зміни кліматичних чинників, які впливають на гідроекологічний стан прибережних лиманів [1-4]. Найбільш чутливими та вразливими до цих змін є так звані «закриті» лимани, які не мають постійного істотного зв'язку з морем а епізодично з'єднуються з морем штучно створеними відкритими каналами або іншими водопровідними гідротехнічними спорудами. До числа таких лиманів відноситься, зокрема, Тилігульський [5]. Тому плани водного та екологічного менеджменту лиману повинні враховувати не тільки сучасні умови формування його гідроекологічного режиму, але й очікувані їх зміни внаслідок впливу кліматичних чинників.

Метою роботи є оцінка на прикладі Тилігульського лиману тенденцій можливих змін характеристик гідроекологічного режиму закритих лиманів північно-західного Причорномор'я внаслідок очікуваних протягом XXI ст. змін клімату.

Попередні результати цього дослідження раніше були представлені в доповідях авторів [6-7]. Визначенню ефективних шляхів гідроекологічного менеджменту Тилігульського лиману присвячені роботи [8-10].

Методи і матеріали. Для оцінки впливу очікуваних у XXI ст. змін клімату на гідроекологічні умови в лиманах північно-західного Причорномор'я використовувалась математична модель евтрофікації вод OSENU-MECCA-EUTRO, побудована на базі чисельної нестационарної гідротермодинамічної моделі MECCA (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) [11], доповненої хіміко-біологічним блоком, який розроблений відповідно до принципів побудови моделі якості вод RCA-HydroQual [12] з авторськими модифікаціями [5].

Хіміко-біологічний блок моделі включає опис динаміки в локальній точці простору наступних гідроекологічних змінних: біомаса фітопланк-

тону, стійкий до мінералізації органічний фосфор у зваженій (детритній) і розчиненій фракціях, лабільний органічний фосфор у зваженій і розчиненій фракціях, розчинений мінеральний фосфор, стійкий органічний азот у зваженій і розчиненій фракціях, лабільний органічний азот у зваженій і розчиненій фракціях, амонійний і нітратний азот, зважена і розчинена фракції стійкого до біохімічного окислення органічного вуглецю, зважена і розчинена фракції лабільного органічного вуглецю, розчинений у воді кисень. Математична структура хіміко-біологічного блоку моделі детально описана в роботі, а структурна діаграма блоку наведена на рисунку 1.

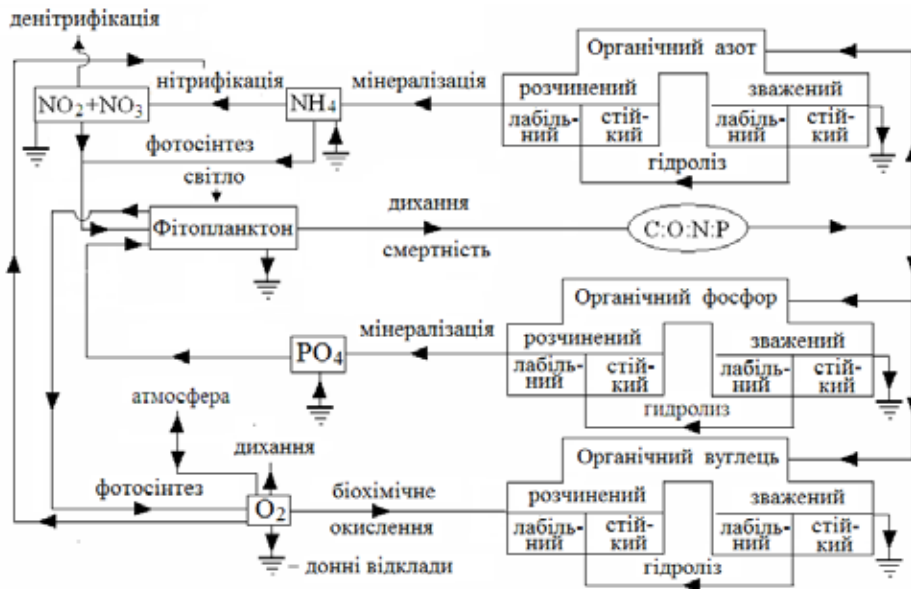


Рис. 1. Структурна діаграма хіміко-біологічного блоку моделі евтрофікації вод

Результати калібрування і верифікації 1-D варіанту моделі для випадку Тилігульського лиману представлені в роботі [5]. В цій же роботі модель була використана для оцінки можливого впливу інтенсифікації водообміну з морем через поглиблений з'єднувальний канал на характеристики гідроекологічного режиму Тилігульського лиману і його трофічний статус.

Моделювання зміни гідроекологічних умов в Тилігульському лимані протягом XXI ст. виконувалось за найбільш вірогідним для регіону кліматичним сценарієм (M10) з бази даних ENSEMBLES, який відповідає глобальному сценарію A1B розрахованому за моделлю MPI-REMO Інституту метеорології ім. Макса Планка (Гамбург, Німеччина) [1; 13].

В результаті аналізу різницевих інтегральних кривих багаторічних коливань річних сум опадів та середніх річних температур повітря в XXI ст., за обраним регіональним кліматичним сценарієм, були встановлені розрахункові кліматичні періоди, які відповідають циклам коливань водності в межах водозбірного басейну Тилігульського лиману: 1990-2030 рр. (період p1); 2031-2070 рр. (p2); 2071-2100 рр. (p3). З метою встановлення відмінностей внутрішньорічної мінливості гідроекологічних характеристик вод Тилігульського лиману, викликаних зміною кліматичних умов, для кожного з виділених кліматичних періодів XXI ст. були обрані типові за гідрометеорологічними умовами (формування стоку на водозборі лиману) роки із 25% (багатоводний – Н), 50% (середньо водний – М) та 75% (маловодний – L) ймовірністю перевищення (забезпеченістю) надходження річкового стоку в лиман.

Вхідною інформацією для моделювання гідроекологічних умов в Тилігульському лимані слугували дані щодо внутрішньорічної мінливості метеорологічних характеристик над акваторією лиману в обрані типові роки різної водності для кожного з кліматичних періодів, а також розраховані на їх підставі, із застосуванням стохастичної моделі «клімат-стік» [1; 14; 15], середньомісячні витрати річкового стоку в лиман. Вважалось, що водообмін з морем відбувається протягом всього року через вже реконструйований (поглиблений) з'єднувальний канал [5].

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами моделювання встановлено, що протягом XXI ст. середньорічні значення температури води в лимані підвищаться на 4.2°C у маловодні роки, 1.6°C у середні за водністю роки та на 3.7°C – у багатоводні роки (рис. 2а). В той же час значення температури води, які відповідають верхньому квартилю, тобто влітку, підвищаться на 5.8°C у маловодні роки, 3.2°C у середні за водністю роки та на 5.3°C у багатоводні роки.

Через збільшення випаровування, посушливості клімату і значне зменшення річкового стоку з водозбірного басейну лиману [1; 17], протягом XXI ст. будуть зростати обсяги надходження до лиману морських вод через штучний з'єднувальний канал «море-лиман» (рис. 2б) для компенсації дефіциту прісного водного балансу [3; 9]. Збільшення середньорічних витрат води через канал у бік поповнення лиману морської водою складе 3.7 м³/с у маловодні роки, 0.6-0.9 м³/с – у середньоводні роки та 2.14 м³/с – у багатоводні роки. Згідно з [5], це призведе до зростання первинної продукції органічної речовини водоростями в південній частині лиману, за рахунок додаткових поставок мінерального азоту, однак, одночасно буде сприяти зменшенню вмісту в його водах розчиненої органічної речовини, органічного і мінерального фосфору. У всі кліматичні періоди максимальний вплив якості морських вод на гідроекологічні умови в південній частині лиману буде відбуватись у маловодні роки.

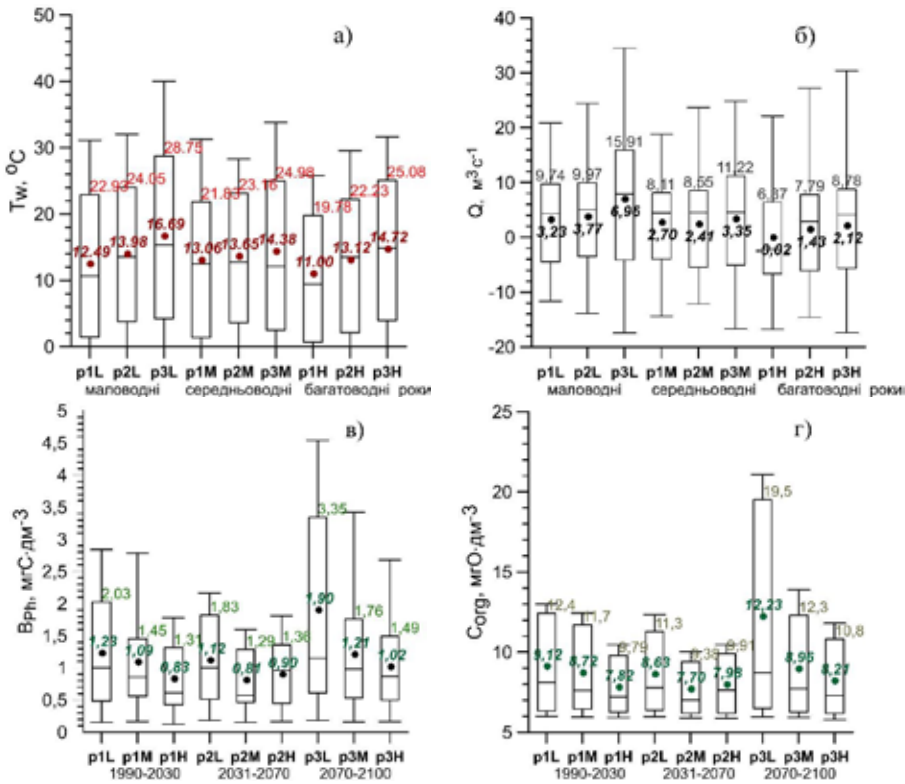


Рис. 2. Характеристики внутрішньорічної мінливості гідроекологічних показників в типові роки різних кліматичних періодів XXI ст.: а – температура води, б – витрати води через сполучний канал «море-лиман» (додатні значення відповідають надходженню води в лиман), в – біомаса фітопланктону в період його масового розвитку (травень-вересень) і г – концентрація органічної речовини в період масового розвитку фітопланктону. Приведені мінімальні, максимальні, медіанні та середні (точки) значення, а також значення 0,25- та 0,75-квантилей

Оскільки питома швидкість практично всіх хіміко-біологічних процесів значною мірою визначається температурою води [5], то внаслідок її підвищення буде відбуватись збільшення інтенсивності продукційно-деструкційних процесів у воді та донних накопиченнях лиману. Зокрема, зросте питома швидкість регенерації мінеральних форм біогенних елементів в процесі мінералізації органічної речовини у воді і донних накопиченнях, первинного продукування органічної речовини фітопланктоном, споживання кисню на біохімічне окислення органічної речовини.

Як видно з рисунків 2.а-в, для кожного з кліматичних періодів відзначається закономірність, яка полягає в тому, що в період масового розвитку фітопланктону (травень-вересень) маловодним рокам притаманні

підвищені значення температури води, біомаси фітопланктону, концентрації органічної речовини в водах лиману, потоку її надходження до донних накопичень, а багатоводним рокам – навпаки, відносно низькі значення. Виключенням є роки середньої водності періоду р2 (2031-2070 рр.), в які біомаса фітопланктону і концентрація органічної речовини декілька менша, ніж у багатоводні роки цього періоду. Це пояснюється відносною зміною гідрометеорологічних умов у місяці масового розвитку фітопланктону кліматичного періоду р2 порівняно з р1 – деяким збільшенням балу хмарності, кількості атмосферних опадів та зменшенням потоку фотосинтетично активної радіації.

Сукупна дія вищевказаних процесів призводить до того, що протягом ХХІ ст., в цілому, буде відбуватися погіршення кисневого режиму лиману та поглиблення гіпоксії в придонному шарі вод влітку (рис. 3). Найбільше погіршення кисневого режиму вод лиману відбуватиметься у маловодні роки, за умов яких температура води та концентрація органічної речовини у воді найбільші. Багатоводність років у всі кліматичні періоди сприяє поліпшенню кисневого режиму водойми.

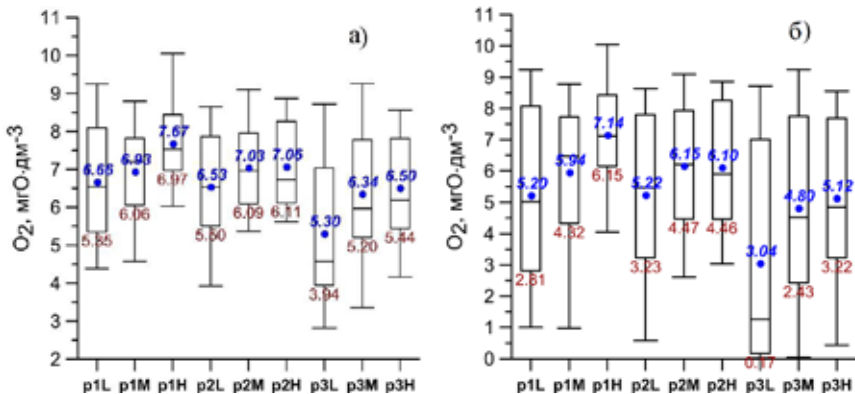


Рис. 3. Характеристики внутрішньорічної мінливості гідроекологічних показників в типові роки різних кліматичних періодів ХХІ ст.: а – середній вміст кисню в стовбці води і г – вміст кисню в водах придонного шару вод в період масового розвитку фітопланктону (травень-вересень). Приведені мінімальні, максимальні, медіанні та середні (точки) значення, а також значення 0,25- та 0,75-квантилей

Висновки. В роботі, на підставі результатів чисельного моделювання річного циклу мінливості хіміко-біологічних показників гідроекологічного стану Тилігульського лиману за очікуваних у ХХІ ст. гідрометеорологічних умов у типові роки різної водності кліматичних періодів 1990-2030; 2031-2070; 2071-2100 рр. встановлено, що протягом ХХІ ст. відбудеться:

- підвищення середньорічних значень температури води в лимані від 1.6°C у середні за водністю роки до 3.7°C у багатоводні роки і 4.2°C у маловодні роки;

- підвищення середніх значень температури води в тепле півріччя від 3.2°C у середні за водністю роки до 5.3°C у багатоводні роки і 5.8°C у маловодні роки;

- зростання надходження до лиману морських вод через сполучний канал «море-лимани», які є джерелом додаткового надходження до лиману мінеральних форм азоту і можуть призводити до зростання первинної продукції органічної речовини фітопланктоном в південній частині лиману;

- деяке зменшення біомаси фітопланктону і концентрації органічної речовини у маловодні і середньоводні роки періоду 2031-2070 рр. і значне їх збільшення в період 2071-2100 рр., порівняно з періодом 1990-2030 рр.;

- в усі кліматичні періоди ХХІ ст. у траві-вересні маловодним рокам притаманні підвищені значення температури води, біомаси фітопланктону, концентрації органічної речовини в водах лиману, а багатоводним рокам – навпаки, відносно низькі значення;

- інтенсифікація продукційно-деструкційних процесів у воді та донних накопиченнях лиману, внаслідок підвищення температури води, що призведе до погіршення кисневого режиму лиману та поглиблення гіпоксії в придонному шарі вод влітку, особливо в маловодні роки.

Автори вважають, що першому наближенні визначені тенденції очікуваних змін у ХХІ ст. характеристик гідроекологічного режиму Тилігульського лиману можуть бути поширені на інші однотипні («закриті») лимани північно-західного Причорномор'я.

EVALUATION OF CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF THE HYDROECOLOGICAL REGIME OF TYLIGUL ESTUARY UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATE FACTORS

¹*Tuchkovenko O.A. – Senior Lecturer,*

^{1,2}*Tuchkovenko Yu.S. – Doctor of Science in Geography (Oceanology), Professor,*

¹*Odessa State Environmental University,*

²*Institute of Marine Biology of the NAS of Ukraine,*

oxatuch2020@ukr.net

The research studies the problem related to evaluation of the impact of climate change expected in the 21st century across the North-Western Black Sea Region on the intra-annual variability of the hydroecological regime of the Tyligul Estuary, subject to maintenance of the constant connection with the sea through the reconstructed sea-to-

estuary canal. The evaluation was performed using a numerical mathematical model of water eutrophication. The modelling was performed under hydrometeorological conditions of typical years of different water content during the climatic periods of 1990-2030, 2031-2070, 2071-2100 determined as per the most probable climate scenario for the region under study taken from the ENSEMBLES database, which corresponds to the global A1B scenario calculated based on the MPI-REMO model. Based on the modelling results, it was established that during the 21st century the average annual values of water temperature in the estuary are expected to increase from 1.6°C in average water content years to 3.7°C in high water content years and to 4.2°C in low water content years. A higher increase in average values of water temperature is expected in summer: from 3.2°C in average water content years to 5.3°C in high water content years and to 5.8°C in low water content years. Due to increased evaporation and significant reduction in the river runoff volume flowing into the estuary, there will be increase in the seawater inflow through the connecting sea-to-estuary canal. Such seawater serves as a source of additional inflow of mineral forms of nitrogen and may lead to increase of initial generation of organic substance by phytoplankton across the southern part of the estuary. Water temperature increase will result in a higher intensity of production and destruction processes in the estuary's water and bottom sediments and consequent deterioration of the estuary's oxygen regime together with stronger hypoxia in the bottom water layer in summer, especially in low water content years. During all climatic periods of the 21st century, from May to September, low water content years are characterized by the elevated values of water temperature, phytoplankton biomass, organic matter concentration in the estuary's water, and high water content years, on the contrary, – by relatively low values of these indicators. It was concluded that the main trends of possible changes in the characteristics of the hydroecological regime of Tyligul Estuary during the 21st century may extend to other landlocked estuaries of the north-western Black Sea coast.

Keywords: North-Western Black Sea Region, climate change, Tyligul Estuary, hydroecological regime, modelling.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С., Гриб О.М. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: монографія. Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 277 с.
2. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: монографія. Од. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
3. Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С. Влияние изменений климата на стратегию водного менеджмента лагун северо-западного Причерноморья. *Тези доповідей I Всеукр. гідрометеорологічного з'їзду з міжнародною участю*, 22-23 березня. Одеса: ТЕС, 2017. С. 312–313.
4. Лобода Н.С., Козлов М.О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал*, 2020, 25. С. 93–104. DOI: 10.31481/uhmj.25.2020.08.
5. Тучковенко Ю.С., Тучковенко О.А. Модель эвтрофикации морских и лиманных экосистем северо-западного Причерноморья. *Український*

- гідрометеорологічний журнал*, 2018, 21. С. 75–89. DOI: 10.31481/uhmj.21.2018.08.
6. Тучковенко О.А., Тучковенко Ю.С. Очікувані гідроекологічні умови в Тилігульському лимані у XXI сторіччі. *Матеріали Всеукраїнська наук.-практ. конф. «Річки та лимани Причорномор'я на початку XXI сторіччя»*, 17-18 жовтня. Одеса: ТЕС, 2019. С. 140–142.
 7. Тучковенко О.А., Тучковенко Ю.С., Лобода Н.С. Моделювання гідроекологічних умов в лиманах Північно-Західного Причорномор'я в контексті змін клімату у XXI столітті на прикладі Тилігульського лиману. *Тези доповідей XII міжн. наук.-практ. конф. «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2017»*, 26-29 червня. Чернігів: ЧНТУ, 2017. С. 41–45.
 8. Lillebø, A.I., Stålnacke, P. & Gooch, G. D. (eds). (2015). Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies. London: IWA Publishing.
 9. Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В., Лобода Н.С. Оценка влияния условий водообмена с морем на изменчивость уровня и солености воды в Тилигульском лимане. *Український гідрометеорологічний журнал*, 16, 2015. С. 232–241. DOI: 10.31481/uhmj.16.2015.30.
 10. Tuchkovenko Y., Tuchkovenko O., Khokhlov V. Modelling water exchange between coastal elongated lagoon and sea: influence of the morphometric characteristics of connecting channel on water renewal in lagoon. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. 5. pp. 37–46. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00979.
 11. Hess, K.W. (2000). Mecca 2 Program Documentation / NOAA Technical Report NOS CS 5, Silver Spring, MD.
 12. User's Guide for RCA (Release 3.0). Appendix A / HydroQual, Mahwah, New Jersey. 2004. URL: <https://production.wordpress.uconn.edu/swem/wp-content/uploads/sites/1563/2013/03/RCA-Release-3.0-Rev.1.0.pdf>.
 13. Van der Linden P., Mitchell J.F.B. (Eds.). (2009). ENSEMBLES: Climate Change and Its Impacts: Summary of Research and Results from the ENSEMBLES Project. ENSEMBLES Project Office, Met Office Hadley Centre, Exeter. URL: http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf.
 14. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
 15. Гопченко, Є.Д., Лобода, Н.С., Божок, Ю.В., Козлов, М.А. (2019). Модель “климат-сток” в расчетах и прогнозах водных ресурсов Украины. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2019, 3(54). С. 53–54.
 16. Loboda, N., Bozhok, Y. Impact of climate change on water resources of North-Western Black Sea region. *International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences*. 2015. 2(9). pp. 1–6.

REFERECES

1. Tuchkovenko Yu.S. & Loboda N.S. (Eds). (2014). *Vodni resursy ta hidroekologichnyi stan Tylihul's'koho lymanu* [Water resources and hydroecological conditions of the Tyligulskyi Lagoon]. OSENU. Odessa: TES. [in Ukrainian].
2. Loboda, N.S. & Gopchenko, E.D. (Eds). (2016). *Vodnyi rezhym ta hidroekologichni kharakterystyky Kuial'nyts'koho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitskyi Liman]. OSENU. Odessa: TES. [in Ukrainian].
3. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S. (2017). *Vliyanie izmeneniy klimata na strategiyu vodnogo menedzhmenta lagun severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Impact of the climate change on the strategy of water management of lagoons of the Northwestern Black Sea]. *Tezy dopovidei Pershoho Vseukrainskoho hidrometeorologichnoho zizduz mizhnarodnoiu uchastiu* [Proceedings of the First All-Ukrainian Hydrometeorological Congress with International Participation], 22-23 March. Odessa. 312–313. [in Russian].
4. Loboda, N.S. & Kozlov, M.O. (2020). *Otsinka vodnykh resursiv richok Ukrainy za serednimy statystychnymy modeliamy traektorii zmin klimatu RCP4.5 ta RCP8.5 u period 2021-2050 roky* [Assessment of water resources of the Ukrainian rivers according to the average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 over the period of 2021 to 2050]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 25, 93–104. [in Ukrainian]. doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09
5. Tuchkovenko, Y.S., & Tuchkovenko, O.A. (2018). *Model' evtrofikatsii morskikh i limannykh ekosistem severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [The model of eutrophication of marine and estuarine ecosystems in the northwest Black Sea Region]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 21, 75–89. [in Russian]. doi.org/10.31481/uhmj.21.2018.08.
6. Tuchkovenko, O.A., Tuchkovenko, Yu.S. (2019). *Ochikuvani hidroekologichni umovy v Tylihul's'komu lymani u XXI storichchi* [Expected hydroecological conditions in the Tiligul estuary in the XXI century]. *Materialy Vseukrains'oi naukovo-praktychnoi konferentsii «Richky ta lymany Prychornomor'ia na pochatku XXI storichchia»* [Proceedings of the All-Ukrainian Applied Research Conference "Rivers and estuaries of the Black Sea at the beginning of the XXI century"], 17-18 October, OSENU, Odessa: TES, 140–142. [in Ukrainian].
7. Tuchkovenko, O.A., Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S. (2017). *Modeliuvannia hidroekologichnykh umov v lymanakh Pivnichno-Zakhidnogo Prychornomor'ia v konteksti zmin klimatu u XXI stolitti na prykladi Tylihul's'koho lymanu* [Modeling of hydroecological conditions in the estuaries of the North-Western Black Sea coast in the context of

- climate change in the XXI century on the example of the Tiligul estuary]. *Tezy dopovidei XII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Matematychnе ta imitatsiine modeliuвання system MODS 2017»* [Proceedings of the XII International Applied Research Conference "Mathematical and Imitational Simulation of Systems MODS'2017"], 26-29 June, Chernihiv: ChNTU, 41–45. [in Ukrainian].
8. Lillebø, A.I., Stålnacke, P. & Gooch, G. D. (Eds). (2015). Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies. London: IWA Publishing.
 9. Tuchkovenko, Y.S., Kushnir, D.V., & Loboda, N.S. (2015). *Otsenka vliyaniya usloviy vodoobmena s morem na izmenchivost' urovnya i solenosti vody v Tiligul'skom limane* [Estimation of the influence of water exchange with the sea conditions on the water level and salinity variability in the Tyligul'skyi Liman lagoon]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (16), 232–241. [in Russian]. doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.30.
 10. Tuchkovenko, Y., Tuchkovenko, O., Khokhlov, V. (2019). Modelling water exchange between coastal elongated lagoon and sea: influence of the morphometric characteristics of connecting channel on water renewal in lagoon. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 37–46. doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00979.
 11. Hess, K.W. (2000). Mecca2 Program Documentation / NOAA Technical Report NOS CS 5, Silver Spring, MD.
 12. HydroQual. (2004). User's Guide for RCA (Release 3.0). Appendix A. Mahwah, New Jersey. URL: <https://production.wordpress.uconn.edu/swem/wp-content/uploads/sites/1563/2013/03/RCA-Release-3.0-Rev.1.0.pdf>.
 13. Van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (Eds.). (2009). ENSEMBLES: Climate Change and Its Impacts: Summary of Research and Results from the ENSEMBLES Project. ENSEMBLES Project Office, Met Office Hadley Centre, Exeter. URL: http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf.
 14. Loboda, N.S. (2005). *Raschety i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyakh antropogenного vliyaniya* [Calculations and generalizations of descriptions of annual flow of the rivers of Ukraine in the conditions of anthropogenic influence]. Odessa: Ecology Publ. [in Russian].
 15. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S., Bozhok, Y.V., Kozlov, M.O. (2019). *Model' "klimat-stok" v raschetakh i prognozakh vodnykh resursov Ukrainy* [Climate-runoff model in calculations and forecasts of water resources in Ukraine]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolojiia*, 3(54), 53–54. [in Russian].
 16. Loboda, N., Bozhok, Y. (2015). Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research In Earth and Enviornmental Sciences*, Vol. 02, no. 9, 1–6.