

УДК 504.4.062.2:556.55

**РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ  
ВОДОЗБОРУ Р. ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИКА КУЯЛЬНИЦЬКО ЛИМАНУ У  
КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ХХІСТОРИЧЧЯ**Лобода Наталія Степанівна, Тучковенко Юрій Степанович, Гриб Олег Миколайович,  
Кушнір Дмитро Валентинович, Отченаш Наталія Дмитрівна*Одеський державний екологічний університет*

**Постановка проблеми.** Слово “лиман” походить від грецького слова “limen”, що означає “гавань, бухта”. Лимани Північно-Західного Причорномор’я утворились у результаті затоплення морем долин рівнинних річок та балок в результаті відносного занурення прибережних ділянок суші. Пізніше, у результаті чергування регресій (відступу) та трансгресій (наступу) моря на суходіл сформувалися їх сучасні обриси. Назви лиманів часто співпадають із назвами річок, що живлять їх. Лимани поділяються на відкриті, які мають тісний зв'язок з морем та закриті, відокремлені від моря перешийками та косами без постійно діючих проток. Закриті лимани, до яких віднесений Куяльницький лиман, можуть епізодично сполучатися з морем. В умовах посушливого клімату солоність води у закритих лиманах зазвичай вища за морську.

Рекреаційна та бальнеологічна цінність Куяльницького лиману, розташованого в Одеській області, визначається наявністю пелоїдів та ропи, а також специфічним кліматом Куяльницької балки, де поєднується вплив моря та степу. На базі природних ресурсів лиману функціонує “Клінічний санаторій ім. Пирогова”. Куяльницький лиман відповідає усім вимогам до курортів державного значення: наявність мінеральних вод, лікувальних грязей, ропи, кліматичних та інші природних умов, які є сприятливими для лікування, медичної реабілітації та профілактики захворювань опорно-рухового апарату. Зміни клімату підсилені наслідками водогосподарської діяльності призвели до всихання лиману. Різке зменшення припливу прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману, яке спостерігається на початку ХХІ сторіччя [10], викликало необхідність дослідження причин цього явища та розроблення заходів по упередженню занепаду лиману. “Спасіння” лиману може відбуватися декількома шляхами, серед яких на теперішній час обрані такі: збільшення стоку водотоків, які живлять лиман, та періодичне наповнення лиману морською водою через трубопровід “море-лиман”. Вирішенням поставленої задачі може бути відтворення природних водних ресурсів р. Великий Куяльник (В.Куяльник) як такої, що забезпечує більше 90% надходження прісних вод від річок до лиману.

**Актуальність** дослідження обумовлена необхідністю припинення процесів погіршення бальнеологічних та рекреаційних ресурсів Куяльницького лиману через значні антропогенні навантаження на водозбір лиману, насамперед, на річкову мережу, яка живить лиман, в умовах змін клімату. Зростання температур повітря на фоні незмінних опадів призвело до зменшення водних ресурсів басейну і вплинуло на гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні характеристики лиману [4,5]. Робота виконується згідно із “Регіональною програмою збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки” (затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. [8]) і є складовою госпдоговірної науково-дослідної теми «Науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: частина (лот) 1 – гідрологічне обстеження [5]» (договір з Департаментом екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації № 28/10-16 від 18.10.2016 р).

**Методологія досліджень** припливу прісних вод від р. В.Куяльник до Куяльницького лиману базується на моделі “клімат-стік”, розробленої в Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Гопченка Є.Д. та проф.

Лободи Н.С. [2,7]. Модель використовує на вході метеорологічні дані фактичних спостережень або дані кліматичних сценаріїв (при прогнозах) для розрахунків характеристик річного стоку у природних та побутових (перетворених водогосподарською діяльністю) умовах. Теоретичною основою розрахунків природного стоку є водно-тепловий баланс водозборів, а побутового – водогосподарський баланс. Оцінка побутового стоку та стоку річок в умовах змін глобального клімату виконується в результаті імітаційного стохастичного моделювання. Перевагою запропонованої моделі над іншими є те, що на її основі можна визначати характеристики річного стоку, спираючись лише на метеорологічну мережу, що дуже важливо для Північно-Західного Причорномор'я та водозбору Куяльницького лиману. Для цих територій є характерною нестача даних гідрологічних спостережень та їх значна трансформація водогосподарською діяльністю.

Модель дозволяє оцінювати природні водні ресурси території при відсутності даних гідрологічних спостережень, спираючись на метеорологічну інформацію. Структура моделі така, що при використанні метеорологічних даних сценаріїв змін клімату можливо прогнозувати стан водних ресурсів. Стік, розрахований за метеорологічними даними, отримав назву “кліматичного”. Середня багаторічна величина річного кліматичного стоку ототожнюється із зональним природним стоком і представляється у вигляді карти ізолій. Норми річного кліматичного стоку не враховують вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення. На річках із нестійким підземним живленням середня багаторічна величина зонального (кліматичного) стоку відрізняється від місцевого природного стоку через вплив чинників підстильної поверхні. Для переходу від норми зонального (кліматичного) річного стоку до місцевого використовують спеціальні перехідні коефіцієнти. Методика розрахунків за результатами моделювання увійшла складовою частиною до нормативних документів Республіки Молдова [8]. Стохастичне моделювання рядів побутового стоку базується на входних даних про природний (кліматичний) стік та відомості про масштаби водогосподарської діяльності на водозборах.

Після оцінки річних та середніх місячних значень припливу прісних вод від річки В.Куяльник до Куяльницького лиману з використанням на вході у модель “клімат-стік” метеорологічних даних кліматичних сценаріїв виконувались імітаційні експерименти щодо оцінки їх впливу на водний та сольовий режими лиману. Модель водно-сольового балансу Куяльницького лиману використана для розрахунків та прогнозування режимів середніх рівнів та солоності води в залежності від гідрометеорологічних умов та графіку роботи сполучного трубопроводу “море-лиман” [3]. За гідротермодинамічною моделлю Delft3D-FLOW [3,11] оцінені очікувані у майбутньому (XXI ст.) зміни внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик лиману (рівнів, солоності, температури) за різних умов поповнення його морськими водами з Одеської затоки та прісною водою від р. В.Куяльник.

**Викладення основного матеріалу.** Річка Великий Куяльник є найбільшою річкою, яка впадає у Куяльницький лиман. Вона знаходиться в зоні недостатньої водності і є мало вивченою з гідрологічної точки зору. На річці діє з 1985 року гідрологічна станція у створі р. Великий Куяльник – с. Северинівка. Установлено, що через зростання посушливості клімату та значний вплив водогосподарської діяльності ряд річного стоку є статистично неоднорідним із добре вираженим трендом, що показує тенденцію до зменшення стоку у часі. У межах водозбору знаходиться велика кількість ставків, які затримують поверхневий стік та відіграють роль штучних випарників на водозборах річок, пересихаючи впродовж декількох місяців, а то і років. Сезонного та багаторічного регулювання стоку практично немає: шлюзи у останні роки не працюють, а побудовані несанкціоновані глухі дамби передбачають скидання стоку через отвори у вигляді бетонних труб, розташованих так високо, щоб скид води до

нижнього б'єфу відбувався лише при водопіллях та паводках рідкої повторюваності. У роки середньої та низької водності більша частина стоку річки Великий Куяльник акумулюється в ставках.

Для відтворення ряду річного стоку у створі р. В.Куяльник – с. Северинівка за минулі роки (1953-1985) був використаний ряд річного стоку річки-аналога Тилігул у створі с. Березівка. Отримано, що у період з 1953-2011 рр. середній багаторічний стік р. Великий Куяльник становив 9,75 млн.м<sup>3</sup>. З 1953 до 1988 рр. включно (період до початку значущих змін клімату на території України) ця величина досягала 13,8 млн.м<sup>3</sup>, а з 1989 р. по 2011 рр. об'єм припливу прісних вод від річки до Куяльницького лиману зменшився до 3,86 млн.м<sup>3</sup>.

Розрахунки характеристик побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку виконувались за моделлю “клімат-стік” (другий блок), у тій її частині, де на базі імітаційного стохастичного моделювання отримуються функції антропогенного впливу або функції відгуку. На базі функцій відгуку, представлених у вигляді математичних рівнянь, розраховуються в залежності від характеристик природного стоку та масштабів антропогенної діяльності, так звані коефіцієнти антропогенного впливу. Дослідження наслідків дії різних антропогенних чинників (розораності, урбанізованості, додаткового випаровування з поверхні штучних водойм, втрати на заповнення штучних водойм) на природний стік р. В.Куяльник показало, що найбільш дієвим є вплив штучних водойм. Моделювання внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик лиману виконувалось для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду XXI ст. (1990-2030 рр.), визначених за найбільш виправданим для регіону Куяльницького лиману кліматичним сценарієм з бази даних ENSEMBLES, який відповідає сценарію глобального потепління A1B, розрахованому за моделлю MPI-REMO Інституту метеорології ім. Макса Планка (Гамбург, Німеччина)[12].

З метою визначення ефективності “очищення” водозбору р. Великий Куяльник від штучних водойм необхідно було установити найбільш наближені до реальності характеристики цих водойм. Складання переліку штучних водойм на водозборі Куяльницького лиману виконано на базі даних обласного управління водних ресурсів та даних супутникових знімків, наведених в GoogleEarth та GoogleMaps. Установлено, що загальна кількість штучних водойм станом на 2016р. дорівнює 121 із загальним об'ємом наповнення 15,98 млн. м<sup>3</sup>. За даними експедиційних досліджень ОДЕКУ на 2010 р. на річці Великий Куяльник сумарний об'єм штучних водойм становив 15,6 млн. м<sup>3</sup>, тобто відмінності знаходяться у межах 2%, що вказує на майже постійний рівень цього виду водогосподарської діяльності на протязі багатьох років.

Обстеження річки В.Куяльник показало, що 64% русла річки спрямлено, але цей захід не сприяв збільшенню стоку річки через глибоке залягання потужних водоносних горизонтів підземних вод у сарматських відкладеннях та виснаження запасів підземних вод розташованих ближче до поверхні. Визначення комплексного показника екологічного стану (КПЕС) по довжині річки В.Куяльник на основі даних гідрохімічних вимірювань показало, що річка В.Куяльник характеризується “нестійким екологічним станом” по всій її довжині. Згідно із Водною Рамковою Директивою ЄС досліджувана річка через значні морфологічні, гідрографічні та гідрологічні перетворення і “незадовільний хімічний статус” має бути цілком віднесена до “істотно змінених водних об'єктів” і потребує відновлення.

Оцінки можливого стану водних ресурсів р. В.Куяльник у перетворених водогосподарською діяльністю умовах для XXI сторіччя надавалися за моделлю “клімат-стік” з використанням сценарних метеорологічних даних (сценарій A1B) при сучасних масштабах регулювання штучними водоймами (за умови 40% наповнення штучних водойм у середньому за розрахунковий період). Згідно із даними сценарію A1B як такого, що найбільш точно описує зміну метеорологічних характеристик у майбутньому, були визначені можливі об'єми припливу прісних вод від р. В.Куяльник

до лиману. У природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах формування стоку середній багаторічний об'єм припливу  $\bar{W}_{PP}$  до 1989р. (переламного для території України [1]) становив **20,4 млн.м<sup>3</sup>**. За період 1990-2030 рр. він дорівнюватиме **19,0** млн.м<sup>3</sup>, а для періоду 2031-2070 рр. – **15,2** млн.м<sup>3</sup>. Наприкінці сторіччя у 2071-2098 рр. середній багаторічний приплив прісних вод до лиману зменшиться до **9,7** млн.м<sup>3</sup>. Зниження припливу прісних вод від річки В.Куяльник до Куяльницького лиману, виражене у відсотках, у період 1990-2030рр. досягне 6.8% , а у період 2031-2070рр. – 25% у порівнянні із станом до 1989р. Середній багаторічний об'єм побутового (порушеного водогосподарською діяльністю) стоку буде змінюватись від **12,8** млн.м<sup>3</sup>(до 1989р.) до **9,69** млн.м<sup>3</sup> (за період 1990-2030 рр.) і до **6,11** млн.м<sup>3</sup> (за період 2031-2070 рр.). Це означає, що у кліматичних умовах сценарію А1В, для періоду 1990-2030 рр. середня багаторічна величина річного стоку р. Великий Куяльник за рахунок впливу штучних водойм зменшиться на 50% у порівнянні із природним стоком цього кліматичного періоду, що мав би дорівнювати **19,0** млн.м<sup>3</sup>. Отримані результати показують, що до 2030 р. за умови відтворення природного стоку на водозборі шляхом очищення русла від штучних водойм можливо суттєво збільшити об'єми надходження прісних річкових вод до Куяльницького лиману. Навіть у маловодну фазу коливань водності (2021-2050рр.за сценарієм А1В) від р. В.Куяльник буде надходити до Куяльницького лиману стік 12-13 млн.м<sup>3</sup> у рік.

Отримані коефіцієнти сумарного впливу штучних водойм (табл.1) були використані для оптимізації роботи водогосподарських систем з метою виявлення найбільш сприятливих умов їхньої роботи, або, навпаки, для визначення граничних масштабів водогосподарських перетворень. З таблиці 1 витікає, що втрати на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм не є переважаючими, і більш вагомим антропогенним чинником є наповнення штучних водойм.

Таблиця 1 – Коефіцієнти антропогенного впливу у розрахункові кліматичні періоди для р. В.Куяльник при рівні водогосподарської діяльності, який відповідає сучасним умовам (за сценарієм А1В)

Період	$\bar{W}_{PP}$ , млн.м <sup>3</sup>	Об'єм штучних водойм, млн. м <sup>3</sup>	Відносна площа водної поверхні $f_B$ , %	Коефіцієнти антропогенного впливу на середню багаторічну величину річного стоку при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				напов- нення	додаткове випаровування	сумарний коефіцієнт
1990-2030 рр.	19,0	7,8	0,33	0,59	0,92	0,51
2031-2070 рр.	15,2	7,8	0,33	0,49	0,91	0,40
2071-2098 рр.	10,7	7,8	0,33	0,27	0,90	0,17

Для того, щоб річка функціонувала в «природних» умовах, коефіцієнт втрат на наповнення не повинен бути нижче 0,9, тобто на заповнення штучних водойм має виділятися не більше 10% від багаторічної норми річного стоку (табл. 2). Як видно з наведеної таблиці для жодного з водотоків Куяльницького лиману ця умова нині не виконується. Фактичні об'єми штучних водойм значно перевищують рекомендовані: для р. Кошківка – в 14 разів; для б. Силівка – в 20 разів; для р. Суха Журівка – в 6,7 разів; для р. В.Куяльник (на ділянці між впадінням б. Силівка – р. Суха Журівка) – в 12 разів. При 40% заповненні ставків в басейні р. Великий Куяльник у середньому за багаторічний період використано 6,356 млн.м<sup>3</sup>, а рекомендованим до використання є об'єм, що дорівнює лише 1,958 млн.м<sup>3</sup>, отже втрати на заповнення штучних водойм перебільшують допустимі більш ніж у 3 рази.

Виходячи із того, що повне очищення русла річки від штучних водойм у сучасних соціально-економічних умовах практично неможливе, розглядалися різні варіанти

відтворення природних водних ресурсів річки. За результатами імітаційних розрахунків з використанням прогностичної тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW отримані оцінки змін внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману, зокрема, відміток рівня, температури та солоності води в лимані, інтенсивності випаровування з водної поверхні лиману за різних обсягів надходження до нього стоку річки Великий Куяльник [3,11].

Таблиця 2 – Рекомендований об'єм наповнення штучних водойм у кліматичних умовах минулого сторіччя (до початку впливу змін клімату)

Річка	$\bar{W}_{IP}$ , млн.м <sup>3</sup>	Повний об'єм штучних водойм за даними спостережень, млн. м <sup>3</sup>	Рекомендований об'єм штучних водойм, млн. м <sup>3</sup>
р. В.Куяльник	20,4	15,6	2,04
р. Кошківка	3,50	<b>5,052*</b>	0,35
б. Силівка	1,53	<b>3,066*</b>	0,153
р. Суха Журівка	3,29	2,191	0,329
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	1,266	0,785
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	<b>4,317*</b>	0,341
<i>*Виділені об'єми заповнення штучних водойм, які перевищують стік річки</i>			

Установлено, що впровадження водного менеджменту на водозборі річки В. Куяльник, реалізація різних інженерно-технічних заходів, спрямованих на збільшення стоку річки в Куяльницький лиман будуть суттєво впливати на його гідроекологічний режим лише у разі забезпечення надходження до лиману не менш 75% від обсягів природного стоку річки. Показано, що для гідрометеорологічних умов 2015 р. відновлення річного стоку річки В.Куяльник до 75% від природного призвело б до додаткового підвищення рівня води в лимані на 0,08-0,1 м та до зменшення середніх річних значень солоності води на 21‰ – в південній частині і на 24-28 ‰ – в центральній і північній частинах лиману, порівняно з фактично спостереженими у 2015 р. значеннями. В той же час, за умов сучасного кліматичного періоду, у разі відсутності поповнення лиману морськими водами та стоком інших малих водотоків, які впадають лиман, збільшення стоку р. В. Куяльник навіть до 75% від обсягів природного стоку здатне забезпечити стабілізацію річного циклу мінливості рівня та солоності води в лимані лише в багатоводні роки. За результатами імітаційного моделювання середніх рівнів і мінералізації води лиману, виконаного на базі моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману [3,4,5,6] з використанням спрогнозованих за даними кліматичного сценарію A1B (M10) складових водного балансу лиману, визначено, що як в умовах побутового стоку з водозбору лиману, так і в умовах відновленого природного стоку, рівні води в лимані у маловодні роки і періоди (наприклад, 2018-2020, 2031-2034 рр. й інші) будуть нижчими за позначку НІР (мінус 5,5 м БС), а мінералізація води буде вище гранично допустимого значення (200 г/дм<sup>3</sup>). За умови повного відтворення природних водних ресурсів р. Великий Куяльник ситуація могла б суттєво поліпшитися на початку сторіччя (1990-2030рр.), коли б припливу прісної води було б достатньо для стабілізації сольового режиму лиману як у багатоводні, так і середні за водністю роки. Внаслідок потепління природний приплив води у подальші розрахункові періоди буде зменшуватись і зневоднення водозбору лиману посилюватиметься.

Таким чином, поповнення чаші лиману морськими водами Чорного моря визнано заходом, що є необхідним для збереження лиману. За даними досліджень розроблено оптимальний режим роботи трубопроводу “море-лиман” [3,4,5,6]. Він передбачає поповнення лиману морською водою щорічно в періоди з температурою морської води в Одеській затоці  $\leq 8^{\circ}\text{C}$ . Морська вода подається в лиман до того моменту, поки значення середньомісячної мінералізації води в лимані не зменшиться до 40 г/дм<sup>3</sup>

(нижня межа мінералізації води для існування специфічних водних організмів лиману або так званої «бальнеологічної біоти»), а позначка рівня води в лимані перед початком водопілля менша за мінус 4,35 м БС (рівень, при якому після проходження водопілля або паводка забезпеченість  $P=1\%$ , а також при їх накладанні, не відбудеться затоплення розташованих на узбережжі лиману та території пересипу між лиманом і морем населених пунктів, санаторно-курортних закладів, Об'їзної дороги та інших господарських об'єктів).

**Висновки та перспективи використання результатів дослідження.** Отримані за моделлю “клімат-стік” результати розрахунків природного та побутового стоку за різними кліматичним сценарієм А1В дозволяють зробити висновок, що у XXI сторіччі збільшення стоку річок водозбору р.Великий Куяльник за рахунок кліматичних умов не відбудеться, оскільки посушливість клімату буде зростати. Відтворення природних водних ресурсів річки Великий Куяльник не здатне самостійно забезпечити стабілізацію гідроекологічного режиму Куяльницького лиману без періодичного поповнення його морською водою Одеської затоки Чорного моря та здійснення заходів щодо стабілізації та відновлення припливу прісних вод від інших водотоків, які впадають в лиман: річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська.

### Список літературних джерел

1. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ.: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
2. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). Київ: КНТ, 2005. 188 с.
3. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: Монографія / За ред. Н.С. Лободи, Є.Д. Гопченка / Одеськ. держ. екол.-ний ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
4. Звіт з НДР «Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін» (науковий керівник: Н.С. Лобода) Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2016. 352с.
5. Звіт з НДР «Науково-дослідні роботи з обстеження річки Великий Куяльник» (науковий керівник: Н.С. Лобода) Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2016. 307 с.
6. Звіт з НДР «Науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: частина (лот) 1 – гідрологічне обстеження» (науковий керівник: Н.С. Лобода) Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2016. 214 с.
7. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
8. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. CPD.01.05-2012. (у співавторстві). 180с.
9. Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. (з усіма змінами та доповненнями).
10. Степаненко С. М., Польовий А. М., Лобода Н. С. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
11. Тучковенко Ю. С., Кушнір Д. В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману // Укр. гідрометеорол. ж. 2016. № 17. С. 137 – 149.
12. Wörner V., Hesse C., Stefanova A., Krysanova V. Evaluation of climate scenarios for the lagoons / Potsdam Institute for Climate Impact Research. 2012. 40 p.