

ПЕРЕРОЗПОДІЛ СТОКУ ПО РУКАВАХ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ В УМОВАХ ІСНУВАННЯ СУДНОПЛАВНИХ КАНАЛІВ

В роботі розглянуті питання сучасного перерозподілу стоку по рукавах дельти Дунаю і його ймовірні зміни за умов проведення нових гідротехнічних робіт.

Ключові слова: дельта Дунаю, перерозподіл стоку, гідрологічний прогноз, суднопластво.

Вступ. У своїй нижній течії, на відстані близько 170 км, річка Дунай протікає територією України. Тут головне русло Дунаю розділяється спочатку на два рукави: Кілійський і Тульчинський, а потім ще на кілька крупних водотоків. Тульчинський рукав розходиться на Сулинський і Георгіївський рукави, які течуть територією Румунії і впадають у Чорне море. Кілійський рукав по своїй довжині кілька раз розділяється і знову з'єднується у єдине русло, формуючи дві внутрішні і одну зовнішню морську дельту (рис. 1).



Рис. 1 – Українська ділянка річки Дунай (мапи Google), чорною лінією показано державний кордон.

Вода Дунаю має стратегічне водогосподарське значення для України і Румунії – як транспортний коридор, практично невичерпний ресурс прісної води, об'єкт рекреації і рибальства. До того ж, по річці Дунай, а потім і по його Кілійському рукаву проходить державний кордон між Україною і Румунією. Все це зумовлює підвищений інтерес урядів обох країн до проблем дельти Дунаю.

Одним з основних питань на сьогодні є питання перерозподілу стоку в дельті Дунаю за умов існування судноплавних каналів, а також можливого проведення нових гідротехнічних робіт з покращення умов навігації. Питаннями перерозподілу стоку займався декілька авторів, основні результати наведено у роботах [1-4]. Великою науковою працею останнього часу, що описує історію гідротехнічних робіт і питання перерозподілу стоку, стала монографія «Гідрологія дельти Дунаю» за редакцією В.М. Михайлова, професора Московського державного університету ім. М.В. Ломоносова, яка побачила світ у 2004 р. [5]. За допомогою математичного

моделювання С.А. Альошкін [6] одержав важливі висновки щодо перерозподілу стоку в дельтах річок.

Перерозподіл стоку по рукавах дельти – процес безперервний, зумовлений як природними, так і антропогенними чинниками і, перш за все, гідротехнічними роботами. Дуже багато факторів, які неможливо передбачити, чинять вплив на динаміку стоку, що ускладнює прогнози перерозподілу і потребує безперервного контролю і обліку стоку на Нижньому Дунаї.

Результати багатьох вимірів за період 2004-2012 рр., проведених Дунайською гідрометеорологічною обсерваторією (ГМО), надали змогу розглянути сучасні умови, які склалися в дельті, та відстежити динаміку сучасного розподілу стоку у водотоках дельти Дунаю. *Мета дослідження* – оцінити сучасний стан перерозподілу стоку, спрогнозувати зміни стоку основних рукавів в дельті Дунаю.

Матеріали і методи досліджень. Використовувались стандартні гідрометричні методи вимірювання витрат води, завислих наносів і подальший їх аналіз. Розрахунок стоку виконано по кривих витрат води, побудованих за результатами вимірів 2004-2012 рр. Використання загальноприйнятих методів обліку стоку, а також результатів сумісних україно-румунських вимірів витрат води у прикордонних створах дозволяє констатувати об'єктивність отриманої інформації.

Крива витрат води виду $Q=f(H)$, по найвищому за течією гідроствору (г/с) – 54-а миля річки Дунай, яку використовують при розрахунках середньодобових витрат води, залишається стійкою. Це підтвердили виміри витрат води останніх років. Тому у розрахунках вважаємо, що за останні 30 років середній багаторічний стік води річки Дунай не змінився і становить 6500 м³/с. Стоки Кілійського і Георгіївського рукавів за цей самий період змінився суттєво, і це, безумовно, відбилося на водному стоці рукавів зовнішньої морської дельти.

Для оцінки прогнозних змін стоку, зумовлених ймовірними гідротехнічними роботами, використовувався метод, розроблений проф. В.М. Михайловим [5], який, на наш погляд, найбільш повно пов'язує між собою гідроморфологічні характеристики русла. У загальному вигляді для дворукавної системи цей метод оцінки має такий запис:

$$Q_I/Q_{II} = F_{II}/F_I, \quad (1)$$

де Q_I, Q_{II} – витрати води суміжних рукавів, F_{II}, F_I – модулі опору суміжних рукавів:

$$F = \Delta z / Q^2 = L n^2 / B^2 h^{10/3} \quad (2)$$

де Δz – падіння рівня на ділянці, L – довжина водотоку, n – коефіцієнт шорсткості, (у першому наближенні для всіх рукавів рівний 0,023), B – середня ширина рукава, h – глибина рукава.

Аналіз результатів. Впродовж 1976-2000 рр. стік Кілійського рукава поступово скорочувався. Так, у 1976-1980 рр. витрата води рукава за умов середньої водності Дунаю становила 3840 м³/с (58,9% від стоку Дунаю), у 1986-1990 рр. – 3650 м³/с (56,2%), у 1996-2000 рр. – 3420 м³/с (52,5%) [5].

За результатами вимірів гідрометричним способом 2004-2012 рр., нами оцінено сучасний стан перерозподілу стоку. Процес перерозподілу стоку надалі триватиме, а середня витрата води Кілійського рукава на сьогодні скоротилася і становить близько 3190 м³/с (49,0%). В сучасних умовах Кілійський рукав змінив сезонний (внутрішньорічний) перерозподіл стоку і тепер він протилежний характеру динаміки

за 1976-1980 рр. Ще 30 років тому частка водостоку рукава зменшувалася із зростанням водності річки з 65 до 53 % [5], тепер рукав збільшує частку свого стоку зі збільшенням водності. За умов межени по Кілійському рукаву проходить 47 %, а при максимальних витратах води, під час водопілля, Кілійський рукав перехоплює до 54 % від стоку Дунаю. У багатоводний 2010 р. по Кілійському рукаву пройшов 51,0 % річного стоку Дунаю, а у маловодний 2012 р. – лише 49,0 %.

Середній стік Георгіївського рукава за останні 30 років збільшився через його штучну активізацію з 24 до 29% від стоку Дунаю. Стік Сулінського рукава за цей час залишався відносно стабільним і склав близько 20% від стоку річки в вершині дельти.

У 1983 р. було побудовано канал «35-а миля» з Тульчинського рукава, який дещо порушив перерозподіл стоку між основними рукавами дельти і відволік близько 2% від стоку річки на обводнення дельти.

На ділянці 115-20 км Кілійського рукава за умов середньої і високої водності річки відбувається скорочення стоку. При середньому стоці Дунаю втрати води на цій ділянці становлять близько 90 м³/с (2,8% від стоку Кілійського рукава). Під час наповнення придунайських озер і лиману Сасик втрати часто перевищують 300 м³/с. За умов низьких рівнів води на ділянці може відбуватися приплив води, зумовлений спрацюванням води з озер і ефектом дельтового регулювання. Витрати води на г/с Кілійський 20 км стають вищими за витрати води на г/с 115 км в умовах дуже високої водності Дунаю, що пояснюється перетіканням води з Тульчинської системи рукавів до Кілійської внаслідок гідравлічної неспроможності русел Тульчинської системи водотоків пропускати екстремальні витрати води. Цей висновок підтверджується значними повеннями 2006, 2010 рр. в румунській частині дельти, внаслідок яких було завдано значного збитку аграрному і рибному господарству.

Основні рукави морської Кілійської дельти – Очаківський, Старостамбульський і Бистрий – знаходяться під впливом скорочення стоку Кілійського рукава.

Стік води через Очаківський рукав продовжив зменшуватися. У 1976-1980 рр., за умов середньої водності річки, витрата води у виток рукава дорівнювала 1170 м³/с, у 1986-1990 рр. – 1100 м³/с, у 1996-2000 рр. – 865 м³/с, а у 2004-2012 рр. – 730 м³/с. Скорочення стоку Очаківського рукава пов'язано як з природною еволюцією цього водотоку, так із припиненням днопоглиблювальних робіт у рукаві Прорва на початку 90-х років ХХ ст.

Старостамбульський рукав на г/с 10 км (нижче рукава Бистрий) також скоротив стік: у 1976-1980 рр. витрата води за умов середньої водності становила 1720 м³/с, у 1986-1990 рр. – 1400 м³/с, у 1996-2000 рр. – 1280 м³/с, а у 2004-2012 рр. – 1160 м³/с. Поступове зменшення стоку обумовлене як зниженням стоку Кілійського рукава, так і втратами на підтримку суміжного рукава Бистрий.

Рукав Бистрий за останні 30 років, в основному, збільшував стік. У 1976-1980 рр. витрата води рукава за умов середньої водності становила 926 м³/с, у 1986-1990 рр. – 1050 м³/с, у 1996-2000 рр. – 1180 м³/с, а у 2004-2012 – 1210 м³/с. При цьому процес збільшення стоку води рукава був трохи підсилений завдяки гідротехнічним роботам на його барі, починаючи з 2004 р. З іншого боку інтенсивне скорочення стоку води Кілійського рукава в вершині морської дельти призвело до сповільнення процесу активізації рукава Бистрий. Таким чином, сучасну еволюцію рукава Бистрий визначають два різноспрямованих фактори: зменшення стоку у верхів'ї Кілійській дельти Дунаю і проведення гідротехнічних робіт по поглибленню бара цього рукава при відновленні та експлуатації глибоководного суднового ходу (ГСХ). У 2011-2012 рр. спостерігається стабілізація стоку рукава Бистрий – стік по ньому перестав збільшуватися через суттєве зменшення водності Кілійського рукава. Стік рукава

зростає тільки відносно суміжних водотоків: Старостамбульського (г/с 10 км) і особливо Очаківського рукава у його витоку.

За час існування ГСХ по рукаву Бистрий, з 2004 р. основні тенденції розвитку рукавів Кілійської дельти не змінилися. Більшість рукавів української частини дельти скорочують стік води і наносів, окрім рукавів Бистрий і Циганський. В цілому для рукавів дунайської дельти, які відмирають (тобто з часом зменшують стік), характерною рисою є збільшення частки стоку зі збільшенням водності річки [5], тому середні річні відсотки розподілу стоку дещо відрізняються від розподілу стоку в окремі фази гідрологічного режиму. Так, коли водність Дунаю є максимальною, Очаківський і Старостамбульський (нижче Бистрого) рукави приймають найбільшу частку стоку Дунаю, у той ж самий час рукав Бистрий приймає найменшу частку стоку річки. За умов межені ситуація протилежна.

Моделювання перерозподілу стоку. Прогноз. Найбільш ймовірні гідротехнічні роботи, що можуть використовуватись вздовж Кілійського рукава – це поглиблення декількох перекатів, а також добудова каналу Дунай – Чорне море в його гирлі. В румунській частині дельти можливе спрямлення закруту в околиці міста Тульча, в рамках реалізації програм покращення навігаційних умов.

Спрямлення закрутів Кілійського рукава розглядається нами як теоретичний проект, моделювання якого дає відповідь на питання масштабності такого впливу.

У разі реалізації проектів зі спрямлення меандр стік основних рукавів стрибкоподібно зміниться, а далі буде приходити у гідравлічну рівновагу шляхом переформування русла та зменшення чи збільшення витрат води.

Розглянуто декілька сценаріїв зміни гідравлічних характеристик в сучасних умовах (рис. 2): спрямлення закруту Тульчинського рукава біля міста Тульча, спрямлення 3 меандр Кілійського рукава (116-109, 105-98 і 89-76 км).

Як показали наші розрахунки, проведені на основі вищезгаданої методики [5,6], спрямлення закруту Тульчинського рукава біля міста Тульча призведе до збільшення стоку приблизно на 1% від стоку Дунаю. Однак ці роботи здатні підсилити процеси розмиву у Георгіївському рукаві і спричинити певний довгостроковий ефект. Реконструювання дамби на Ізмаїльському Чаталі шляхом її вертикальної чи горизонтальної досипки, ймовірно, також зумовить певну регулюючу дію, здатну знижувати максимальні рівні вздовж Кілійського рукава.

Можна також припустити, що розмір чи зменшення розмірів цієї шпори навряд чи суттєво змінить середню водність Тульчинського і Кілійського рукавів у їх витоку. Це, насамперед, пов'язано із сучасною морфологією русла в районі Ізмаїльського Чаталу, визначеною багаторічною перебудовою річки у цьому місці. Вплив цієї споруди на перерозподіл стоку в сучасних умовах може розглядатися як «фоновий» – існуючий більше ніж 100 років.

Спрямлення закрутів Кілійського рукава, як вказують розрахунки, також неспроможне кардинально змінити ситуацію в дельті Дунаю. Такий гіпотетичний проект дає прирощення стоку Кілійського рукава лише на 3-4 % (до 51-52% від стоку Дунаю) і навряд чи змінить динаміку перерозподілу на користь Кілійського гирла. Всі ймовірні спрямлення Кілійського рукава здатні зменшити його загальну довжину до 101 км (на 13%).

Нагадаємо, що сьогодні загальна довжина Тульчинського рукава і його продовжень складає 94 км, а після спрямлення закруту біля м. Тульча вона скоротиться до 90 км. До того ж, багатурукавність дельти Кілійського рукава, як показано у [6], буде сприяти постійному зменшенню його водності.

Вирішальним фактором, що визначає динаміку водності основних рукавів дельти Дунаю при будь-яких будівельних роботах, залишиться розвиток

Георгіївського рукава. Скорочення його довжини у 1981-1992 рр. з 109 до 76 км (на 30%) шляхом будівництва каналів з незакріпленим руслом й досі призводить до збільшення поперечного перерізу каналів-спрямлень і активізації всього Георгіївського і Тульчинського рукавів.

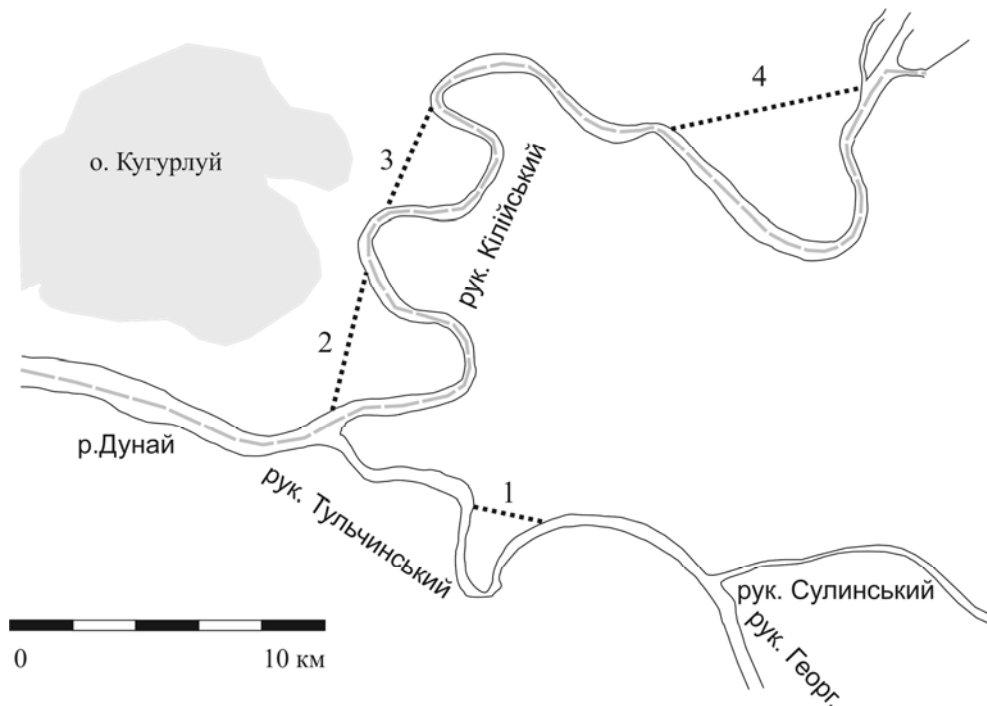


Рис. 2 – Гіпотетичні зміни гідрографічної мережі:

- 1- виправлення закруту біля м. Тульча
- 2- виправлення закруту на 116-109 км Кілійського рукава ,
- 3- виправлення закруту на 105-98 км Кілійського рукава
- 4- виправлення закруту на 89-76 км Кілійського рукава.

Власне кажучи, зниження водності Кілійського рукава і зміна його гідрологічного режиму чинить деякий вплив на господарські об'єкти та екологічний стан української дельти Дунаю. Основні прямі та непрямі негативні наслідки, про які частково згадувалось раніше [7], вже виникли чи можуть виникнути на території українського Придунав'я у зв'язку зі зниженням стоку Кілійського рукава:

1. Зниження максимальних рівнів води вздовж Кілійського рукава і погіршення водообміну в Придунайських озерах.
2. Погіршення водообміну і зміна гідрологічного режиму у внутрішніх дельтових озерах.
3. Прогресивне відмирання малих рукавів Кілійської дельти. Насамперед, це рукав Кислицький, який постачає воду в оз. Катлабух і Китай, і рукав Лімба, де проходить державний кордон.
4. Підсилення ерозійних процесів на українській ділянці морського краю через дефіцит річкових наносів.
5. Активізація процесів інтрузії, частого та тривалого стояння морських вод в рукавах дельти, підняття клину солоності вище м. Вилкове.
6. Зменшення біорізноманіття в гирловій області, особливо на території Дунайського біосферного заповідника.

7. Зменшення кількості заходів дунайського оселедця через рукава, які втрачають стік і потужність струменів течії.

На суднопластво зменшення стоку Кілійського рукава буде впливати неоднозначно. З одного боку, воно зменшить замулення ділянок поглиблення, а з іншого – може призвести до перебудови русла і фарватеру.

Існує висока ймовірність того, що в найближчий час справдиться наш прогноз на 2020 р. [8], в якому наведені такі цифри: Кілійський рукав зменшить частку свого стоку до 47%, Тульчинський збільшить стік до 53%. Найбільш інтенсивно водостік приростатиме до 2020 р. у Георгіївському рукаві – до 31% від стоку Дунаю.

Підтримання прохідних глибин у гирлі рукава Бистрий на рівні 5-7 м нездатне змінити динаміку основних рукавів дельти, однак, як вже зазначалося у [5], поглиблення перекатів і бару Кілійського рукава дещо сповільнить відтік води до Тульчинської системи рукавів.

Окремо зазначимо велику роль рукава Бистрий у пропуску зимового стоку за умов потужного льодоходу. Поглиблений бар рукава здатний спрацьовувати більшу частину стоку Кілійського рукава при блокуванні льодом барів Очаківського і Старостамбульського рукавів. При сильних вітрах зі східною складовою це дещо захистить м. Вилкове від катастрофічного підйому рівнів води. Саме така ситуація спостерігалася у лютому 2012 р., коли, завдяки поглибленому бару рукава Бистрий, «зимова блокада» рукавів не стала причиною стихійного лиха.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Перерозподіл стоку в дельті Дунаю визначається як природними процесами, так і антропогенними чинниками. Сучасна динаміка характеризується збільшенням стоку Тульчинської системи рукавів і зменшенням стоку Кілійського рукава. Станом на 2013 р. середній стік Кілійського рукава становить 49% від стоку Дунаю в верхів'ї дельти. Сулинський і Георгіївський рукави перехоплюють відповідно 20 і 29%. Ще 2% стоку відходить у канал, розташований на 35 милі Тульчинського рукава. Вздовж Кілійського рукава його водність зменшується в середньому на 90 м³/с, таким чином, в морську зовнішню дельту Кілійського рукава потрапляє близько 47,5% від стоку Дунаю.
2. Спряmlення закруту Тульчинського рукава біля м. Тульча призведе до подальшої активізації всієї системи румунських гирл і зменшення водності Кілійського рукава до 45-46% до 2020 р. У зовнішню морську дельту Кілійського рукава, в середньому буде потрапляти лише 43-44%.
3. Всі крупні рукави Кілійської дельти будуть скорочувати стік, за винятком рукава Бистрий, який залишиться відносно стабільним. Підтримання судноплавних глибин на українській ділянці дельти сповільнить процес перехоплення стоку Тульчинською системою водотоків. У разі відсутності масштабних гідротехнічних робіт у 2020 р. частка стоку Кілійського рукава становитиме 47% від стоку Дунаю.
4. Поглиблений бар рукава Бистрий, окрім свого основного призначення – пропуску суден, здатний також спрацьовувати більшу частину стоку Кілійського рукава при блокуванні льодом гирл суміжних водотоків.
5. Потрібно зберегти і модернізувати існуючу систему гідрологічного моніторингу на українській ділянці Дунаю. Динамічна система дельти потребує збільшення частоти вимірювань на г/с з метою оперативного контролю за перерозподілом стоку. Національна система екологічного контролю стану дельти Дунаю повинна включати провідні регіональні організації моніторингу довкілля у сферах гідрометеорології та біології. Накопичена гідрометеорологічна

інформація Дунайської ГМО може використовуватись як база для розробки і калібрації математичних моделей дельти Дунаю.

Список літератури

1. *Гидрология* устьевой области Дуная / Алмазов А.М., К. Бондар., Н.Ф. Вагин и др./ Под ред. Я.Д. Никифорова и К. Дьякона. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 383 с.
2. *Михайлов В.Н.* Основные закономерности гидрологического режима дельты Дуная и его антропогенных изменений / Михайлов В.Н., Вагин Н.Ф., Морозов В.Н. // *Водные ресурсы*. – 1981. – №6. – С. 22-44.
3. *Морозов В.Н.* Изменения гидрологических процессов в дельте Дуная под влиянием водохозяйственных мероприятий: Дис. канд. географ. наук: 11.00.07 – М., 1985. – 176 с.
4. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее – М.: ГЕОС, 1997. – 413 с.
5. *Гидрология* дельты Дуная / Михайлов В.Н., Морозов В.Н., Михайлова М.В и др./ Под ред. В.Н. Михайлова – М.: ГЕОС, 2004.– 448 с.
6. *Алешкин С.А.* Математическое моделирование гидролого-морфологических процессов в неприливых дельтах рек : Дис. канд. географ. наук: 25.00.27 – М., 2004. – 149 с.
7. XXIVth Conference of the Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Slovenia, Bled, 2–4.06.2008. Conference E-papers. 1-4 p.
8. *Черой А.И.* Сток воды наносов и морфологические процессы в устьевой области реки Дунай: Дис. канд. географ. наук: 11.00.07 / Черой Александр Иванович. – Одесса, 2009. – 174 с.

Перераспределение стока по рукавам дельты Дуная в условиях существования судоходных каналов. Черой А.И.

В работе рассмотрены вопросы современного перераспределения стока по рукавам дельты Дуная и его возможных изменений в условиях проведения новых гидротехнических работ.

Ключевые слова: дельта Дуная, перераспределение стока, гидрологический прогноз, судоходство.

The redistribution of runoff on the branches of the Danube Delta in terms of the existence of navigation channels. Cheroy O.I.

The paper discusses the issues of redistribution of modern runoff on the branches of the Danube Delta and its possible changes in the conditions of new engineering works.

Keywords: Danube Delta, redistribution of runoff, hydrological forecast, shipping.