

УДК 556.16

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ СКЛАДОВИХ ГІДРОЛОГІЧНОГО ТА ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМІВ РІЧКИ ДУНАЙ НА УКРАЇНСЬКІЙ ДІЛЯНЦІ РЕНІ-ІЗМАЇЛ

Ж. Р. Шакірманова<sup>1</sup>, Н. С. Кічук<sup>1</sup>, Є. О. Романова<sup>1</sup>, І. Д. Кічук<sup>1</sup>, Ю. С. Медведєва<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, [jannetodessa@gmail.com](mailto:jannetodessa@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>  
<sup>2</sup>Національний університет «Одеська морська академія»  
вул. Дідріхсона, 8, Одеса 65029, Одеса, Україна

Дане дослідження направлене на вивчення окремих складових гідрологічного та гідрохімічного режимів річки Дунай (в межах України) у зв'язку з широким використанням її вод для водопостачання і зрошення у південному регіоні країни, а також для більш ефективного регулювання водно-сольового режиму Придунайських озер, для яких прісна вода р. Дунай є основним джерелом їх водооновлення. Важливим питанням є дослідження режиму наносів р. Дунай, що приносяться в дельту у зв'язку з їх впливом на формування самої дельти в гирлі річки, а також впливом на замулення дельтових і придельтових озер та каналів, які з'єднують озера з Дунаєм.

Мета роботи полягає в дослідженні багаторічних і сучасних тенденцій в змінах гідрологічного (рівнів та витрат води, стоку зважених наносів) та гідрохімічного (мінералізації води) режимів р. Дунай на українській ділянці від гідроствору м. Рені до м. Ізмаїл, внутрішньорічного розподілу стоку води, а також стоку наносів та мінералізації вод в різні за водністю роки.

В результаті статистичного аналізу багаторічних рядів спостережень на р. Дунай на ділянці м. Рені-м. Ізмаїл одержано, що часові тенденції середніх, максимальних і мінімальних рівнів (1921-2015 рр.) та витрат (1840-2015 рр.) води вказують на наявність слабо вираженого їх зростання протягом тривалого часу, з більш вираженим підвищенням максимальних рівнів чи витрат води. Внутрішньорічний хід показує загальну синхронність коливань характеристик стоку, а більш вираженими сезонними коливаннями відрізняються максимальні місячні величини витрат води.

Виявлено наявність вираженого тренду до зменшення стоку зважених наносів на р. Дунай – м. Рені (за період 1840-2015 рр.), з найбільш інтенсивним їх зниженням у період 1990-2015 рр. Внутрішньорічний розподіл середньомісячних витрат зважених наносів р. Дунай для характерних за водністю років (за період 1978-2015 рр.) показав, що вони мають сезонні коливання. При цьому спостерігається зменшення витрат наносів по довжині річки – від м. Рені до м. Ізмаїл.

У багаторічному ході середніх річних величин мінералізації р. Дунай -- м. Ізмаїл (1981-2015 рр.) має місце їх зменшення на фоні незначного підвищення середніх річних витрат води. У внутрішньорічному розподілі значень мінералізації води у всі групи водності років виділяються періоди, які пов'язані з фазами водного режиму річки протягом року та господарським використанням вод.

Таким чином, підвищення у багаторічному періоді стоку води р. Дунай на ділянці м. Рені -- м. Ізмаїл сприятиме розвитку господарства і водопостачання регіону, зрошуваного землеробства, регулюванню наповнення Придунайських озер слабо мінералізованими річними водами. При цьому зменшення стоку зважених наносів буде стримувати замулення підвідних каналів, що з'єднують озера з р. Дунай, що забезпечить покращення водообміну озер з прісними водами річки.

**Ключові слова:** водний режим р. Дунай; режим наносів; мінералізація води; багаторічні тенденції; внутрішньорічний розподіл

### 1. ВСТУП

Найбільша річка Європи Дунай (довжина 2857 км, площа басейну 817 тис.км<sup>2</sup> [1-3]) в межах України має басейн розташований лише на

ділянці нижньої течії – дельти і гирла. Відстань по Дунаю на відміну від інших річок світу, вказується проти течії річки – від гирла («0» км). Знак «0 км» знаходиться на Делюковій косі (не-

великому острові Анкудінов), де він позначений великим нулем, при впадінні Дунаю в Чорне море. Довжина річки від гирла до м. Рені становить порядку 170 км.

В гирловій частині річка має дельту площею, що становить близько 4200 км<sup>2</sup> (причому українська її частина займає 830 км<sup>2</sup>), протяжність морського краю дельти – 190 км. Державний кордон між Україною та Румунією проходить по фарватеру на придельтовій ділянці Дунаю, а в межах дельти – по Кілійському рукаву (від місця розділення Дунаю на Кілійський (лівий) і Тульчинський (правий) рукави) і його гирлам [3-5]. Через Сулінський рукав дельти (Румунія) проходить міжнародний водний шлях, що з'єднує Дунай з Чорним морем. На придельтовій ділянці і в самій дельті (в межах України) знаходяться міста Рені, Ізмаїл, Кілія, Вилкове, а в межах Румунії – Ісакча, Тульча, Суліна.

Водні ресурси гирлової області Дунаю (в межах України) є основним джерелом для розвитку зрошуваного землеробства та рибного господарства, водопостачання населених пунктів і підприємств в посушливому регіоні Півдня України [2].

Річковий стік Дунаю і мінералізація його вод є також основною складовою в водному і сольовому режимах Придунайських озер, для яких води р. Дунай є основним джерелом їх водооновлення за рахунок надходження прісних вод.

Дослідження режиму наносів р. Дунай, що приносяться в дельту є важливим питанням у зв'язку з їх впливом на формування самої дельти в гирлі річки, а також впливом на замулення дельтових і придельтових озер та каналів, які з'єднують озера з Дунаєм [4, 5].

Отже вивчення тенденцій в багаторічному гідрологічному та гідрохімічному режимах річки Дунай на українській ділянці (нижче м. Рені) має науковий інтерес і практичну важливість.

*Мета роботи* полягає в дослідженні багаторічних і сучасних тенденцій в змінах гідрологічного (рівнів та витрат води, стоку зважених наносів) та гідрохімічного (мінералізації води) режимів р. Дунай на українській ділянці від гирла до м. Рені до м. Ізмаїл, внутрішньорічного розподілу стоку води, а також стоку наносів та мінералізації вод в різні за водністю роки.

Результати, отримані в даному дослідженні можуть використовуватися при обґрунтуванні ефективності регулювання режимом української частини р. Дунай з метою водопостачання і зрошення, що сприятиме соціально-економічному розвитку всього Придунайського регіону в цілому.

## 2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Гідрологічний і гідрохімічний режими гирлової області Дунаю (в межах України), як й інших річок знаходяться під впливом як природних, так і антропогенних чинників, пов'язаних з використанням водних ресурсів (водопостачання, водні меліорації, рибне господарство) та регулюванням стоку гідротехнічними спорудами, а також кліматичними змінами, що викликані підвищенням температури повітря, просторовими і тимчасовими змінами режимів опадів і випаровування [5].

Величина середнього багаторічного стоку в гирлі р. Дунай, що вказана в літературних джерелах різних років [4-8] коливається в межах від 183 до 291 км<sup>3</sup>/рік. Як відомо [5], існує декілька причин, пов'язаних з тим, що існують протиріччя стосовно оцінки стоку Дунаю – це різна довжина рядів для розрахунків річного стоку, різні та не визначені місця вимірів витрат води та різні методи вимірів та розрахунків стоку річки. На основі досліджень багаторічних коливань річного стоку р. Дунай в роботах [5-7] стік річки прийнятим близьким 200 км<sup>3</sup>/рік, але за різні періоди осереднення. В [9] річний об'єм стоку р. Дунай у створі Ізмаїльський Чатал, визначений за період 1931-2005 рр. і становить 202 км<sup>3</sup>/рік.

Дослідженням водного режиму міжнародної річки Дунай присвячені чисельні дослідження авторів [10-16], що узагальнені в [17]. Потепління клімату є домінуючим фактором змін водних ресурсів і режимів стоку води в басейні річки Дунай [18-20]. Так, при збільшенні середньорічної температури повітря, відбувається зменшення частки снігу в осінні і зимові місяці року, що призводить до загальних тенденцій до зменшення річкового стоку навесні та збільшення його в осінньо-зимовий період. При цьому збільшується амплітуда між найбільшими і найменшими витратами води, а також відбувається зміщення пікових значень талодощового стоку до початку календарного року [21]. Антропогенний вплив на середній стік води оцінений в роботі [5] як не значний та складає не більше 8 % безповоротних втрат води. При аналізі формування гідрологічного режиму в гирлі Дунаю авторами [22] здійснено оцінку як природних, так і антропогенних змін стоку води.

Режим та умови формування стоку зважених наносів української дельти Дунаю розглянуті в роботах дослідників різних років В. Н. Михайлова [5], Є. А. Левашової та ін. [8], Ю. Д. Шуйського [23], О. І. Чероя [24]. В роботах розглянуті питання оцінки середньобагаторічних величин стоку наносів

Дунаю [5, 8], балансу наносів у формуванні Кілійської дельти [8], перерозподілу стоку води та наносів в рукавах дельти в умовах антропогенних та природних перетворень [5, 23, 24].

Середні багаторічні величини стоку зважених наносів Дунаю коливаються, як і для стоку води, в широких межах – від 42 до 84 млн. т/рік [5]. Однак будівництво гребель, забір дунайської води для потреб побутових, сільськогосподарських, промислових та ін. потреб призвели до зменшення скидів річкових наносів.

В зарубіжній літературі дослідженням режиму стоку наносів р. Дунай присвячені роботи авторів Придунайських країн [25-28]. В них досліджуються багаторічні процеси формування, міграції наносів, режими відкладень як у просторі, так і в часі на основі використання сучасних методів вимірювання швидкості течії і зважених наносів, транспортування зваженого осаду річками і струмками, що стікають в озера та ін.

Дослідженням мінералізації та гідрохімічного режиму вод річок, у тому числі й р. Дунай (українська частина), що залежать від впливу природних і антропогенних чинників, присвячені роботи авторів [29, 30]. Роль антропогенних чинників зростає по мірі розвитку господарського освоєння території та використання вод [31].

Природні чинники визначають географічну зональність в хімічному складі вод. Вплив місцевих азональних чинників, до яких можна віднести геологічну будову, генезис, морфологію, температурний режим визначають сольовий склад та гідрохімічний режим річки [30].

Таким чином, на основі аналізу виконаних досліджень постає завдання вивчення гідрологічного і гідрохімічного режимів української ділянки р. Дунай при подовженні часових рядів спостережень, змін кліматичних умов формування та антропогенних впливів на окремі складові режимів річки.

### 3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є окремі складові гідрологічного режиму рівнів та витрат води, стоку наносів, гідрохімічного режиму на ділянці р. Дунай від гідроствору м. Рені (54 миля) до м. Ізмаїл (115 км). Ця ділянка розташована нижче від гирла р. Прут (м. Рені) до місця дещо нижче роз'єднання Дунаю на Кілійський і Тульчинський рукави (м. Ізмаїл) і має довжину 21 км.

Вихідні матеріали. При аналізі окремих складових гідрологічного режиму ділянки Дунаю від м. Рені до м. Ізмаїл як вихідні дані по стоку води використані матеріали Державного водного ка-

дастру України [32], монографічні і довідкові видання [1, 5, 17, 33-37], спостереження Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії (ДГМО, м. Ізмаїл). В даний час стандартна мережа гідрологічних спостережень на українській пригірловій частині р. Дунай складається з 6 річкових постів, з яких два вимірюють витрати води – р. Дунай – м. Рені, г/с 54 миля (період дії з 1959 р.) і р. Дунай, Кілійське гирло – м. Ізмаїл, г/с 115 км (діє з 1928 р.). Дані про рівні води на постах м. Рені і м. Ізмаїл відносяться до 1921 р.

Авторами монографії [5] стокові ряди були подовжені шляхом складення унікального за тривалістю зведеного ряду спостережень 1840-2002 рр. (163 роки) за стоком води Дунаю у вершині дельти (г/с 54 миля). З цією метою середньомісячні та середньорічні витрати води за період з 1840 по 1920 рр. були розраховані авторами [5] за прив'язкою до рівнів води на румунському г/п Тульча (за даними доктора К. Бондара, Румунія [6]). За допомогою багаторічної кривої витрат води в ДГМО авторами [5] проведені розрахунки щоденного стоку у м. Рені за період, починаючи з 1921 р. У 2000 році координати багаторічної кривої були уточнені у зв'язку з будівництвом захисної дамби уздовж правого берега Дунаю (в 1987-1991 рр.). При цьому відбувалося підвищення рівнів води під час весняних водопіль та розмив русла річки, що призвело до зниження рівнів води під час низької водності при однакових витратах води у вершині дельти Дунаю [5]. Дані по стоку зважених наносів для поста м. Рені були відновлені авторами [5] аналогічно стоку води з 1840 р.

Таким чином, до статистичного аналізу авторами даної роботи був прийнятий часовий ряд спостережень за витратами води на р. Дунай – м. Рені (г/с 54 миля) та р. Дунай – м. Ізмаїл (г/с 115 км) тривалістю з 1840 по 2015 рр. (для середньорічних) і за період з 1921-2015 рр. (для максимальних та мінімальних) річних витрат води. Дані по витратах води на гідрологічному посту Ізмаїл (115 км) за попередні роки надані Дунайською ГМО. Стік зважених наносів досліджений за період 1840-2015 рр. на посту м. Рені і з 1978-2015 рр. – м. Ізмаїл.

Слід зазначити, що в режимних виданнях України [32] дані про рівні води з 1945 р. по посту Рені і з 1921 р. – по м. Ізмаїл. Середні і характерні витрати води за багаторічний період, а також витрати зважених наносів наводяться за період 1978-2015 рр.

Для характеристики режиму мінералізації р. Дунай використані матеріали по середнім річним їх величинам за період 1981-2015 рр. в ство-

рах м. Рені та м. Ізмаїл.

Методика дослідження полягає в аналізі багаторічних рядів спостережень та встановлення тенденцій змін гідрологічних і гідрохімічних характеристик у багаторічному періоді, внутрішньорічного їх розподілу за роками водності р. Дунай (на ділянці м. Рені та м. Ізмаїл) [38].

#### 4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

##### 4.1 Гідрологічний режим рівнів води

На рівневий режим дельти Дунаю визначальний вплив має внутрішньорічна мінливість стоку води, згінні та нагінні явища гирлового узмор'я, льодові утворення, будівництво гідротехнічних споруд (гребель обвалування, дамб та ін.).

У річному ході рівнів води в гирловій ділянці Дунаю виявляються такі сезонні коливання, як весняно-літнє водопілля, літньо-осіння межень, осінні паводки, зимова межень та зимові паводки [3-5]. У зимовий період режим рівнів води характеризується нестійкістю і в значній мірі визначається погодними умовами на водозборі. Сталі низькі рівні води спостерігаються у морозні зими, зазвичай у січні-лютому. В теплі зими, коли льодові явища відсутні відбувається формування декількох паводкових хвиль.

Суттєвий вплив на рівневий режим дельти Дунаю мають явища згінних та нагінних коливань, які з'являються у Приморській частині дельти і розповсюджуються (особливо при сильних вітрах, швидкістю понад 10 м/с) вверх за течією води в річці (або дельтових рукавах). Згони обумовлюються вітрами західних напрямів, а нагони – східних [5].

Характерною особливістю льодового режиму Дунаю є крайня нестійкість льодових фаз [3-5]. Льодостав спостерігається не кожного року.

На нижньому Дунаї ймовірність льодоставу становить 40-75 %. Повторні замерзання і розкриття тут рідкісні.

Дослідження статистичних характеристик льодових явищ в дельті Дунаю пов'язані в науковій літературі з встановленням емпіричної ймовірності дат появи льодових явищ та дат утворення льодоставу [5, 39], побудовою емпіричних кривих забезпеченості цих дат та повторюваності випадків наявності льодових явищ та льодоставу [39]. В роботі [40] авторами Л. О. Горбачовою і Б. Ф. Христюк встановлено, що в цілому існує однорідність в рядах дат появи льодових явищ, їхньої тривалості, та дат очищення від льоду, а також багаторічна циклічність в коливаннях цих дат з поступовим зменшенням з 70-х років минулого сторіччя тривалості періоду з льодовими явищами.

Характерні за багаторічний період рівні води (середній, вищий і нижчий за рік) наведені у табл. 1 (для річок з нестійким льодоставом) [32]. Так, у м. Рені (за період 1945-2015 рр.) середній максимальний рівень води становить 438 см (4,74 м БС-77). Найбільший максимум досягав 581 см (6,17 м БС-77) у 2010 р., а найменший рівень води - до мінус 40 см (мінус 0,17 м БС) у 1953 р. Середні коливання рівнів води за рік становлять 3,91 м, при найбільших – 5,34 м (у 1985 р.). Середній за багаторічний період 1945-2015 рр. рівень води посту м. Рені дорівнює 233 см (2,62 м БС до 1976 і БС-77), причому за період 1921-2015 рр. рівень води майже не змінився (2,60 м БС до 1976 і БС-77).

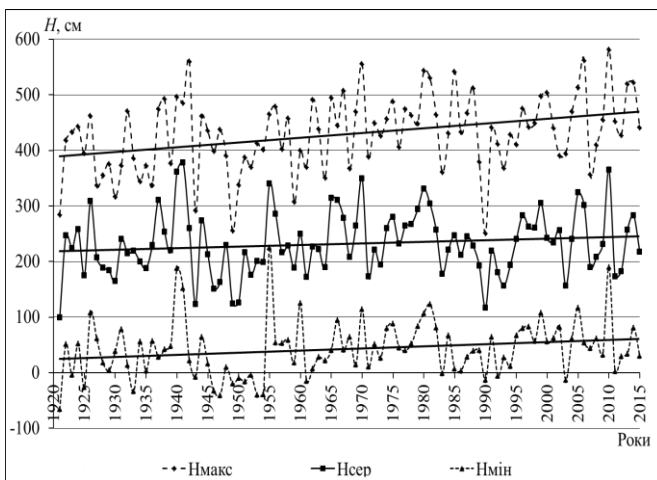
Максимальний багаторічний рівень води у вершині Килійського рукава (у м. Ізмаїл) за період 1921-2015 рр. становить 303 см (2,85 м БС-77), найвищий – 420 см (3,97 м БС)

Таблиця 1 – Характерні рівні води р. Дунай  
Table 1 - Characteristic water levels of the Danube River

Характеристика	Середній рівень за рік	Вищий рівень за рік, см		Нижчий рівень за рік, см		Коливання рівня за рік, см	
		середній	вищий	середній	нижчий	середній	Найбільший
р. Дунай – м. Рені (відмітка нуля поста 0,23 м БС до 1976 р.; відмітка нуля поста 0,36 м БС-77) 1945–2015 рр. [32] (1921-2015 рр.)							
рівень води	233 (232)	438	581	44	-40 (-66)	391	534
дата	-	12.04	06.07.2010	17.10	29.12.1953 (28.10.1921)		1985
р. Дунай, Килійське гирло – м. Ізмаїл (відмітка нуля поста -0,23 м БС до 1976 р.; відмітка нуля поста -0,18 м БС-77) 1921–2015 рр. [32]							
рівень води	167	303	420	39	-30	265	369
дата	-	22.04	22.05.1970	01.11	30.10, 01.11.1921		1942

у 1970 р. (близький до забезпеченості водності року  $P=1\%$ ), а найнижчий – мінус 30 см (мінус 0,53 м БС) у 1921 р. (близький до  $P=90\%$ ). Річна амплітуда коливань рівнів води при цьому становить 2,65 м, а найбільша – 3,69 м (1942 р.). Середній за багаторічний період рівень води посту м. Ізмаїл становить 167 см (1,47 м БС до 1976 і БС-77) (1921-2015 рр.).

Часові тенденції середніх, максимальних і мінімальних рівнів води (за період 1921-2015 рр.) показують наявність слабо вираженого зростання рівнів води протягом тривалого часу, що більш відчутно для максимальних їх величин (рис.1).



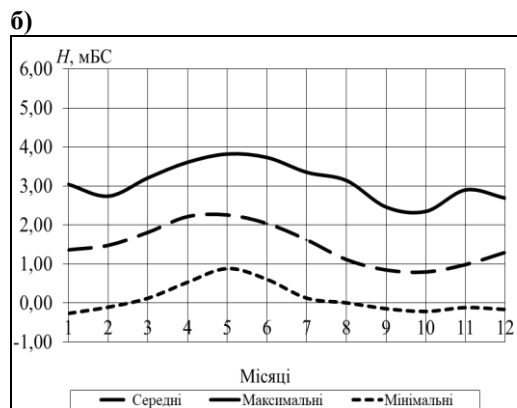
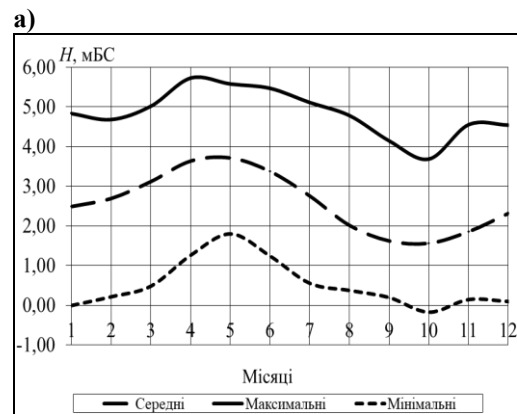
**Рис. 1** – Хронологічні графіки середніх (1840-2015 рр.), максимальних і мінімальних (1921-2015 рр.) рівнів води р. Дунай – м. Рені, см

**Fig. 1** -- Chronological graphs of average (1840-2015), maximum and minimum (1921-2015) water levels of the Danube River at Reni, cm

Внутрішньорічний хід середніх, максимальних і мінімальних місячних рівнів води р. Дунай у м. Рені і м. Ізмаїл показує загальну синхронність їх коливань при найвищих місячних рівнях у квітні і травні (в багатоводні роки високі рівні відзначалися майже протягом п'яти місяців), а найменші місячні рівні води практично завжди припадають на початок осені (рис. 2).

#### 4.2 Гідрологічний режим витрат води

Основна частина водного стоку Дунаю формується в верхній і особливо середній течії річки, де Дунай перетинає Південні Карпати. На Нижньому Дунаї і в дельті річки для режиму стоку води характерні добре виражене тривале



**Рис. 2** – Внутрішньорічний хід середніх, максимальних і мінімальних місячних рівнів води р. Дунай у м. Рені (а) та у м. Ізмаїл (б) (за період 1921-2015 рр.)

**Fig. 2** - Annual distribution of average, maximum and minimum monthly water levels of the Danube River at Reni (a) and Izmil (b) (for the period 1921-2015)

за часом і високе весняно-літнє водопілля, сформоване талими сніговими і дощовими водами, і літнє-осіння межінь. Весняно-літнє водопілля складається з декількох повеневих хвиль, які формуються на Середньому та Нижньому Дунаї і звичайно відмічається в березні – липні, часто на нього припадає річний максимум стоку. Найменші витрати води спостерігаються в літню-осінню межінь в період з серпня по жовтень. У сучасних умовах на частку весняного водопілля припадає 50,7-60 % річного стоку води [5, 32].

За даними режимних видань України, тобто для періоду осереднення 1978-2015 рр. [32] середні річні витрати води спостерігалися рівними  $6660 \text{ м}^3/\text{с}$  (м. Рені, гідроствор 54 миля) і  $3730 \text{ м}^3/\text{с}$  (м. Ізмаїл, гідроствор 115 км), при об'ємах стоку за рік 210 млн.  $\text{м}^3$  та 118 млн.  $\text{м}^3$ , відповідно (табл. 2). При цьому за зведеним часовим рядом середні річні витрати води за період 1840-2015 рр. становлять в створах м. Рені –  $6355 \text{ м}^3/\text{с}$  і м. Ізмаїл –  $3695 \text{ м}^3/\text{с}$ , що на 4,6 і 1,0 %

нижче від значень річних витрат води періоду осереднення 1978-2015 рр., відповідно.

За період 1840-2015 рр. найбільші середні річні витрати води відзначалися: в 1940 р. – 9520 м<sup>3</sup>/с і 5570 м<sup>3</sup>/с, в 1941 р. – 9950 м<sup>3</sup>/с і 5820 м<sup>3</sup>/с, в 1970 р. – 9620 м<sup>3</sup>/с і 5540 м<sup>3</sup>/с, у 2010 р. – 9470 м<sup>3</sup>/с і 5070 м<sup>3</sup>/с, а найменші: в 1863 р. – 3610 м<sup>3</sup>/с і 2110 м<sup>3</sup>/с, в 1921 р. – 3910 м<sup>3</sup>/с і 2290 м<sup>3</sup>/с та в 1990 р. – 4190 м<sup>3</sup>/с і 2550 м<sup>3</sup>/с, відповідно в м. Рені і м. Ізмаїл.

Найбільші витрати води (отримані по строкових спостереженнях за рівнем води), зазвичай в період весняно-літнього водопілля, в середньому за період 1978-2015 рр. становлять 11800 м<sup>3</sup>/с (м. Рені) і 6440 м<sup>3</sup>/с (м. Ізмаїл), з абсолютним максимумом у липні 2010 р. – 15500 м<sup>3</sup>/с і 8960 м<sup>3</sup>/с, відповідно (табл. 2). Такі величини за період зведеного ряду (1921-2015 рр.) на 4,5 і 3,1 %, відповідно, є нижчими за дані режимного видання [32].

За період 1921-2015 рр. найбільші річні витрати води коливалися в залежності від водності року від 6670 м<sup>3</sup>/с до 16000 м<sup>3</sup>/с (м. Рені) і 3740 м<sup>3</sup>/с до 8960 м<sup>3</sup>/с (м. Ізмаїл). Найбільш високі водопілля відмічені у 1942 р. (15300 м<sup>3</sup>/с і 8490 м<sup>3</sup>/с), 1970 (16000 м<sup>3</sup>/с і 8380 м<sup>3</sup>/с), 1980 (15500 м<sup>3</sup>/с і 8160 м<sup>3</sup>/с), 1981 (15000 м<sup>3</sup>/с і 7930 м<sup>3</sup>/с), 1988 (14400 м<sup>3</sup>/с і 7620 м<sup>3</sup>/с), 2006 (14900 м<sup>3</sup>/с і 8410 м<sup>3</sup>/с), а також у 2010 р.

Літньо-осінній мінімум є найнижчим протя-

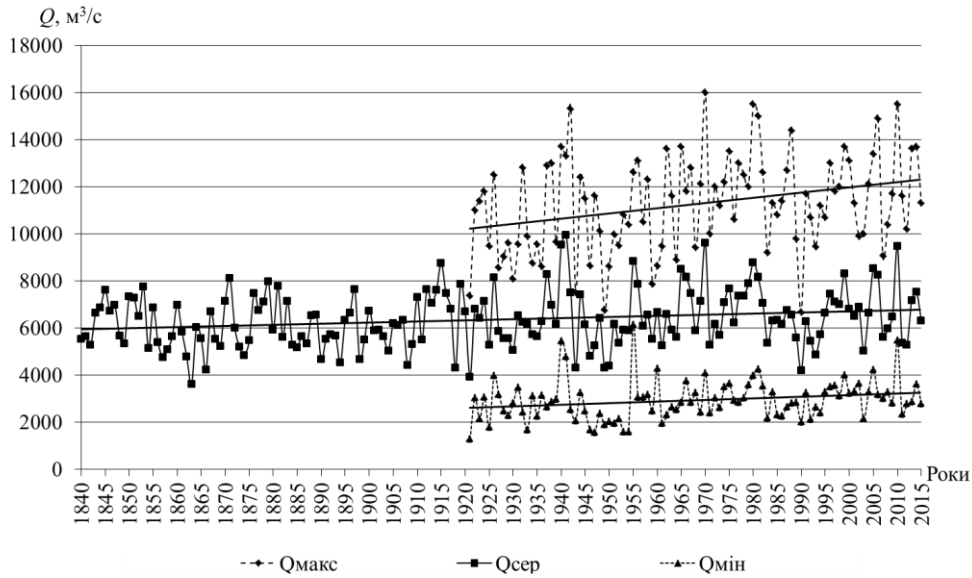
гом року. В режимному виданні [32] найменші зимові витрати води (отримані по строкових спостереженнях за рівнем води) вибрано за період від початку появи більш-менш стійких льодових явищ восени попереднього року до початку весняної повені в поточному році. В середньому за період 1978-2015 рр. їх величини становили 3120 м<sup>3</sup>/с (м. Рені) і 1830 м<sup>3</sup>/с (м. Ізмаїл), з абсолютним мінімумом 2000 м<sup>3</sup>/с (13.09.1990) і 1100 м<sup>3</sup>/с (05-11.09.2003), відповідно (табл. 2). Так само ж оцінені величини найменших річних витрат води за період зведеного ряду (1921-2015 рр.), які на 6,2 і 1,1 %, відповідно також є нижчими за осереднені величини найменших витрат води періоду 1978-2015 рр. За період 1921-2015 рр. найменші витрати води коливалися від 1280 м<sup>3</sup>/с до 6140 м<sup>3</sup>/с (м. Рені) і 1030 м<sup>3</sup>/с до 3460 м<sup>3</sup>/с (м. Ізмаїл).

В результаті аналізу багаторічних характеристик виконаний аналіз зведеного багаторічного ряду середніх річних (за період 1840-2015 рр., тривалістю 176 років) та максимальних і мінімальних (1921-2015 рр., періодом 95 років) витрат води р. Дунай – м. Рені. Він показав наявність слабо вираженого майже вікового тренду до підвищення максимальних витрат води та не значного підвищення середніх і мінімальних витрат води (рис. 3). Аналогічні тенденції відмічаються й для рівнів води.

**Таблиця 2** - Середні і характерні витрати води р. Дунай (період 1978-2015 рр.) [32]  
**Table 2** - Average and characteristic discharges of the Danube River (period 1978-2015) [32]

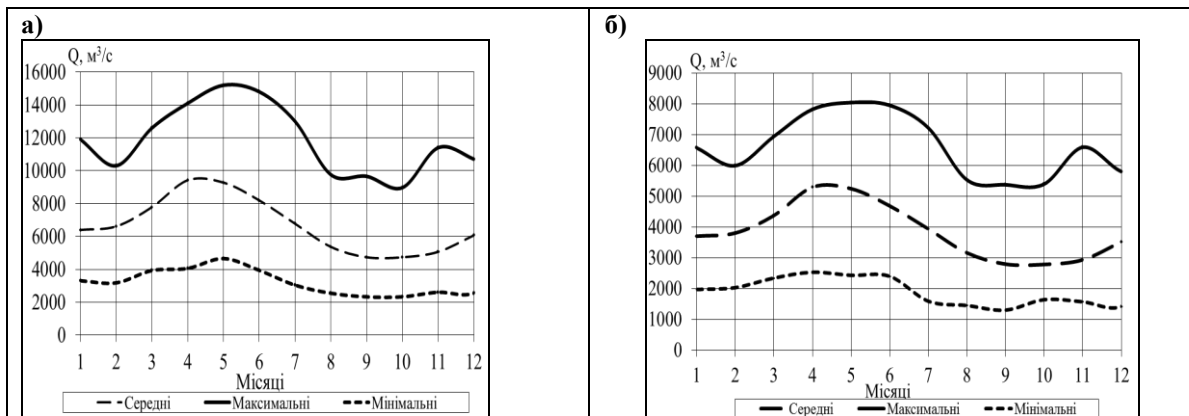
Статистична величина	Середня річна витрата води, м <sup>3</sup> /с	Середній річний модуль стоку, л/с км <sup>2</sup>	Шар стоку за рік, мм	Об'єм стоку за рік, км <sup>3</sup>	Характерні витрати води			
					найбільша		найменша	
					м <sup>3</sup> /с	дата	м <sup>3</sup> /с	дата
р. Дунай – м. Рені (гідроствор 54 миля). Площа водозбору 811 000 км <sup>2</sup>								
Середня	6660	8,21	259	210	11800	-	3120	-
Найбільша	9470	11,7	369	299	15500	06.07.2010	5470	12.11.2010
Найменша	4190	5,17	163	132	6670	25.12.1990	2000	13.09.1990
р. Дунай, Кілійське гирло – м. Ізмаїл (гідроствор 115 км). Площа водозбору 813 000 км <sup>2</sup>								
Середня	3730	4,59	145	118	6440	-	1830	-
Найбільша	5070	6,24	197	160	8960	07.07.2010	2870	13.11.2010
Найменша	2550	3,14	99	80,4	3920	26.12.1990	1100	05-11.09.2003 (6)





**Рис. 3** – Хронологічні графіки середніх (1840-2015 рр.), максимальних і мінімальних (1921-2015 рр.) витрат води р. Дунай – м. Рені,  $\text{m}^3/\text{c}$

**Fig. 3** - Chronological graphs of average (1840-2015), maximum and minimum (1921-2015) discharges of the Danube River at Reni,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$



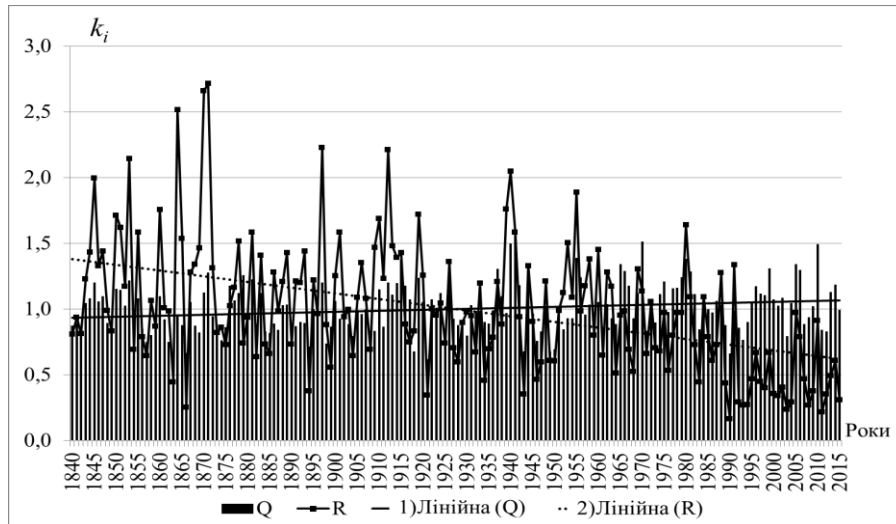
**Рис. 4** – Внутрішньорічний хід середніх, максимальних і мінімальних місячних витрат води Дунаю у м. Рені (а) і м. Ізмаїл (б) (за період 1960-2015 рр.)

**Fig. 4** - Annual distribution of average, maximum and minimum monthly discharges of the Danube river in Reni (a) and Izmail (b) (for the period 1960-2015)

Внутрішньорічний хід середніх, максимальних і мінімальних місячних витрат води Дунаю у м. Рені і м. Ізмаїл (1960-2015 рр.) (рис. 4) показав, що найбільша доля стоку припадає на весняно-літній період формування водопілля (зазвичай у багатоводні роки максимуми водопілля зміщуються до більш пізніх дат – травень-червень), а найменша – восени періоду формування меженого стоку. Крім того, у внутрішньорічному розподілі максимальних місячних величин стоку води вираженим є підвищення стоку в листопаді. В розподілі мінімальних місячних значень стоку води внутрішньорічний розподіл менш виражений.

### 4.3 Гідрологічний режим стоку наносів

Режим стоку наносів української частини Дунаю відрізняється значною різноманітністю і визначається, головним чином, гідрологічним режимом і стоком наносів верхньої і середньої частин річки, а також гірських річок (Тиса, Латориця, Уж, Прут), які стікають зі схилів Українських Карпат і знаходяться в басейні Дунаю [3-5]. Річки мають паводковий режим стоку та виносять значну кількість твердих осадів зі своїх басейнів. Так, найбільшу кількість наносів річки переносять у період весняного водопілля (48-50 % річної суми зважених наносів) та літніх паводків (36-43 %), а найменшу – в осінній



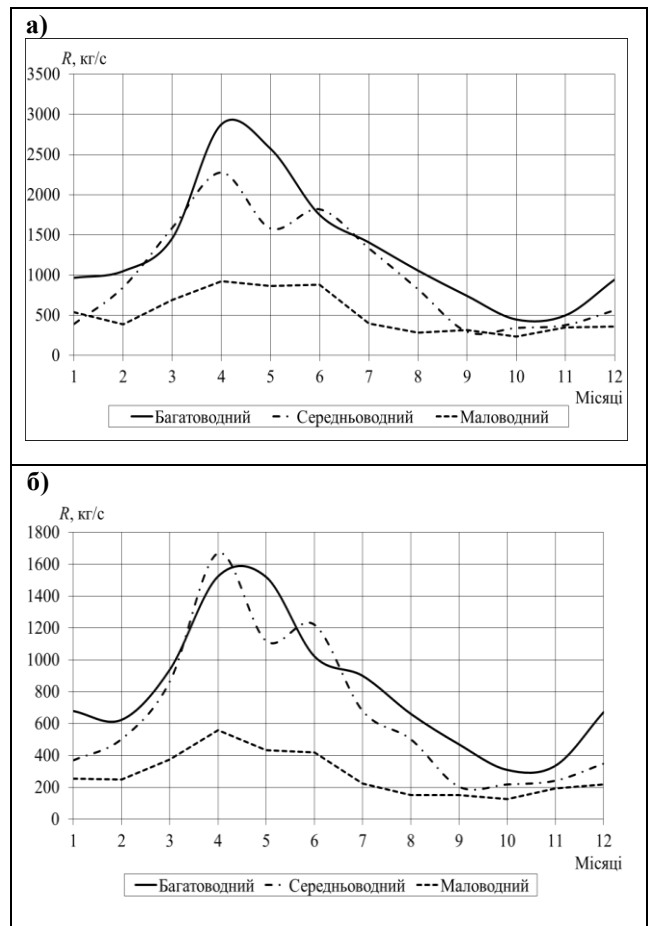
**Рис. 5** – Хронологічні графіки середньорічних витрат зважених наносів та витрат води (1840-2015) р. Дунай – м. Рені (у модульних коефіцієнтах)

**Fig. 5** - Chronological graphs of the average annual of suspended sediment discharges and discharges (1840-2015) of the Danube River at Reni (in modular coefficients)

період (7-15 %) [3]. Важливу роль стік води та нано-сів Дунаю відіграє в режимі Придунайських озер в періоди вільного надходження річкової води до водойм цих озер [5]. Побудований суміщений хронологічний графік середніх річних витрат зважених наносів та витрат води (у вигляді їх модульних коефіцієнтів) на р. Дунай – м. Рені (за період 1840-2015 рр.), показав наявність вираженого тренду до зменшення стоку зважених наносів на фоні не значного підвищення середньорічних витрат води (рис. 5). Найбільш інтенсивне зниження витрат зважених наносів відбувається у сучасний період водності р. Дунай (1990-2015 рр.).

Внутрішньорічний розподіл стоку зважених наносів у дельті р. Дунай тісно пов'язаний з внутрішньорічним розподілом стоку води річки. Збільшення стоку води зазвичай супроводжується збільшенням зважених наносів [5].

В роботі здійснений внутрішньорічний розподіл середньомісячних витрат зважених наносів р. Дунай по створах Рені і Ізмаїл для характерних за водністю років (за період 1978-2015 рр.). Графіки внутрішньорічного ходу витрат зважених наносів в групах різних за водністю років показані на рис. 6. Так, для обох постів в багатоводні та середньоводні роки величини стоку наносів в період весняного водопілля найбільш високі і майже однакові для цих років, нижчі вони у маловодні роки. Найменші у році величини витрати зважених наносів спостерігаються в період межені (у жовтні та листопаді) і не залежать від водності року. При цьому спостерігається зменшення витрат наносів по довжині річки від м. Рені до м. Ізмаїл.



**Рис. 6** – Внутрішньорічний розподіл витрат зважених наносів р. Дунай у м. Рені (а) та м. Ізмаїл (б) (за період 1978-2015 рр.)

**Fig. 6** - Annual distribution of suspended sediment discharges of the Danube River at Reni (a) and Izmail (b) (for the period 1978-2015)



#### 4.4 Гідрохімічний режим мінералізації води

Води гирлової області річки Дунай є основним джерелом прісної води для водопостачання, зрошування, риборозведення в посушливому регіоні півдня України, а також для наповнення водою Дунайських озер. Тому вивчення гідрохімічного режиму р. Дунай на українській ділянці нижче м. Рені має важливе значення при вирішенні різних дослідницьких завдань. Основним фактором, який обумовлює сольовий режим нижньої ділянки р. Дунай є водний режим річки. Збільшення річкового стоку річки, яке відбувається в теплу пору року, обумовлюється припливом з верхніх ділянок мало мінералізованої талої та дощової води. У холодну пору року приплив цієї води значно зменшується, що призводить до підвищення мінералізації води [5, 37].

В даній роботі виконаний аналіз багаторічного ряду (1981-2015 рр., тобто періодом 35 років) середньої річної мінералізації води р. Дунай в створах м. Рені та м. Ізмаїл. Побудований суміщений хронологічний графік середніх річних величин мінералізації та витрат води (у вигляді їх модульних коефіцієнтів) р. Дунай – м. Ізмаїл, показав наявність тенденцій до зменшення мінералізації на фоні не значного підвищення середніх річних витрат води (за період сумісних спостережень) (рис. 7).

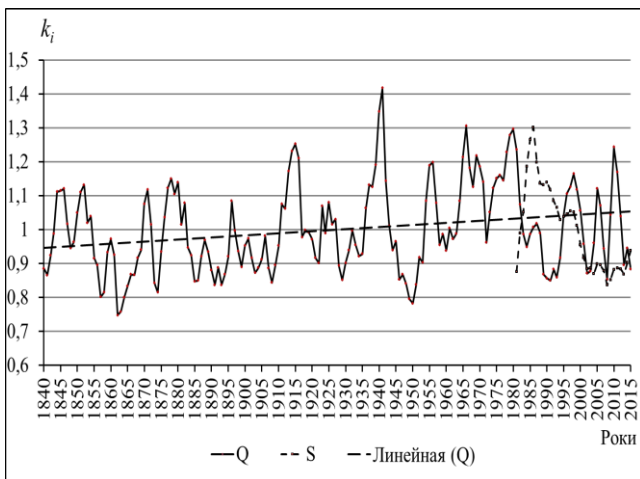


Рис. 7 – Хронологічні графіки середньорічної мінералізації води (1981-2015) та витрат води (1840-2015) р. Дунай – м. Ізмаїл (у модульних коефіцієнтах)

Fig. 7 - Chronological graphs of average annual of mineralization (1981-2015) and discharges (1840-2015) of the Danube River at Izmail (in modular coefficients)

Внутрішньорічний розподіл величин мінералізації води р. Дунай по створах Рені (г/с 54 миля) і Ізмаїл (г/с 115 км) було досліджено у зв'язку з розподілом років за їх водністю (за період 1981-2015 рр.). З цієї метою для багато-,

середньо- та маловодних років встановлені усереднені значення мінералізації Дунайської води по місяцях року і побудовані графіки внутрішньорічного ходу середньомісячної мінералізації р. Дунай в м. Ізмаїл в роки різної водності (рис. 8).

В цілому внутрішньорічний розподіл значень мінералізації води р. Дунай за даний період мало залежить від його водності. Але ж для всіх груп водності років виділяються періоди, які пов'язані з фазами водного режиму річки протягом року та господарським використанням вод, у тому числі водообміну з озерами. У середньоводні роки значення мінералізації у м. Ізмаїл коливаються в межах 377 мг/дм<sup>3</sup> до 425 мг/дм<sup>3</sup>, а в багатоводні – 368 мг/дм<sup>3</sup> до 411 мг/дм<sup>3</sup>, тобто мають близькі значення.



Рис. 8 – Внутрішньорічний розподіл мінералізації води р. Дунай – м. Ізмаїл (за період 1981-2015 рр.)

Fig. 8 - Annual distribution of mineralization of the Danube River at Izmail (for the period 1981-2015)

#### 5. ВИСНОВКИ

Дане дослідження показало, що вивчення окремих складових гідрологічного та гідрохімічного режимів річки Дунай (в межах України) є практично необхідним у зв'язку з широким використанням вод для водопостачання і зрошення, а також для більш ефективного регулювання водно-сольового балансу Придунайських озер, для яких прісні води р. Дунай є основним джерелом їх водооношення.

Результатами статистичного аналізу багаторічних рядів спостережень на р. Дунай на ділянці м. Рені – м. Ізмаїл стали наступні:

1. Часові тренди середніх, максимальних і мінімальних рівнів води (за період 1921-2015 рр.) показують наявність слабо вираженого зростання рівнів води протягом тривалого часу, з більш вираженим трендом для максимальних

рівнів води; їх внутрішньорічний хід показує загальну синхронність коливань.

2. Встановлено, що за зведеним часовим рядом середні (за період 1840-2015 рр., тривалістю 176 років), найбільші і найменші (1921-2015 рр., періодом 95 років) річні витрати води на 1,0-6,2 % нижче від значень цих величин періоду осереднення 1978-2015 рр., відповідно. При цьому має місце наявність слабо вираженого тренду до підвищення максимальних витрат води та не значного зростання середніх і мінімальних витрат води, а у внутрішньорічному ході більш вираженими сезонними коливаннями відрізняються максимальні місячні величини стоку води.

3. Виявлено наявність вираженого тренду до зменшення стоку зважених наносів на р. Дунай – м. Рені (за період 1840-2015 рр.) на фоні не значного підвищення середніх річних витрат води. Найбільш інтенсивне зниження витрат зважених наносів відбувається у сучасний період водності р. Дунай (1990-2015 рр.).

Здійснений внутрішньорічний розподіл середньомісячних витрат зважених наносів р. Дунай для характерних за водністю років (за період 1978-2015 рр.) показав, що в багатоводні та середньоводні роки найбільші величини стоку наносів спостерігаються в період весняного допілля, а найменші – в період межені і не залежать від водності року. При цьому спостерігається зменшення витрат наносів по довжині річки від м. Рені до м. Ізмаїл.

4. Хронологічний графік середніх річних величин мінералізації та витрат води р. Дунай (1981-2015 рр., періодом 35 років) показав наявність до зменшення мінералізації на фоні не значного підвищення середніх річних витрат води; у внутрішньорічному розподілі значень мінералізації води у всі групи водності років виділяються періоди, які пов'язані з фазами водного режиму річки протягом року та господарським використанням вод.

Таким чином, незначне підвищення у багаторічному періоді стоку води р. Дунай на ділянці м. Рені – м. Ізмаїл буде сприятиме розвитку господарства і водопостачання регіону, зрошувано-землеробства, регулюванню наповнення Придунайських озер слабо мінералізованими річними водами. При цьому зменшення стоку зважених наносів буде стримувати замулення підвідних каналів, що з'єднують озера з р. Дунай, що забезпечить покращення водообміну озер прісними водами річки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидрологический справочник реки Дунай 1921-2010 / Дунайская комиссия. Будапешт. 2018. URL: [http://www.danubecommission.org/uploads/doc/publication/2018/spravocnik\\_1921\\_2010.pdf](http://www.danubecommission.org/uploads/doc/publication/2018/spravocnik_1921_2010.pdf). (дата обращения: 23.09.2020)
2. Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водний фонд України : дов. пос. / за ред. Хорева В. М., Алієва К. А. Київ : Ніка-Центр, 2001. 392 с.
3. Общие сведения о реке Дунай / Дунайская комиссия. URL: <http://www.danubecommission.org/dc/ru/дунайское-судоходство/общие-сведения-о-реке-дунай/> (дата обращения: 25.06.2020)
4. Гидрология устьевой области Дуная / под ред. Никифорова Я. Д. и Дьякону К. Москва : Гидрометеоздат, 1963. 384 с.
5. Гидрология дельты Дуная / под. ред. Михайлова В. Н. Москва : ГЕОС, 2004. 448 с.
6. Бондар К. Тенденция и цикличность годового стока воды на Дунае у входа в дельту. *Сборник докладов XVI Конференции придунайских стран по гидрологическим основам водного хозяйства*, 18-22 мая 1992. Кельхейм. Национальный комитет ФРГ по МП ООН ЮНЕСКО. Кобленц, 1992. Том I. С. 321-325.
7. River discharge to the sea / Miliman J. D. et al. *A Global River Index / LOICZ Reports and studies*, 1995. 125 p.
8. Левашова Е. А., Михайлов В. Н., Михайлова М. В., Морозов В. Н. Естественные и антропогенные изменения стока воды и наносов в устье Дуная. *Водные ресурсы*. 2004. Том 31(3). С. 261-272.
9. Average daily discharge and annual peak discharge series collection / Pekárová P. et al. In: Pekárová P., Miklánek P. (eds.). *Flood regime of rivers in the Danube River basin. Follow-up volume IX of the Regional Co-operation of the Danube Countries in IHP UNESCO*. IH SAS, Bratislava, 2019. 215 p. + 527 p. app., <https://doi:10.31577/2019.9788089139460>
10. Streamflow trends in Switzerland / Birsan M.-V. et al. *Journal of Hydrology*. 2005. 314. Pp. 312-329.
11. Trends in hydrologischen Variablen und in der Wasserbilanz Österreichs / Fürst J. et al. U: *Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft (ur. Nachmebel H. P.), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*. Beč, Austrija, 2008. Pp. 105-115.
12. Flood regime of rivers in the Danube River basin / Pekárová P. et al. *Regional cooperation of Danube Countries within the framework of UNESCO International Hydrological Program*. 2008, PROJECT 9, 51 p.
13. Bormann H. Runoff regime changes in German rivers due to climate change. *Erdkunde*. 2010. 64 (3). Pp. 257-279.
14. Čanjevac I. Novije promjene protočni hrežimauhrvatskomdijeluporiječja Dunava. *Hrvatski geografski glasnik*. 2012. 74(1). Pp. 61-74.
15. Changes in long-term properties of the Danube river level and flow induced by damming / Stratimirović D. et al. *Water Resources Research*. 2019. Pp. 1-25.
16. Zabolotnia T., Gorbachova L., Khrystiuk B. Estimation of the long-term cyclical fluctuations of snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2019. Vol. 7(2). Pp. 1-12.
17. Pekárová P., Miklánek P. (eds.). Flood regime of rivers in the Danube River basin. Follow-up volume IX of the Regional Co-operation of the Danube Countries in IHP UNESCO. IH SAS, Bratislava, 2019. 215 p. + 527 p. app., <https://doi:10.31577/2019.9788089139460>

18. Stagl J. C., Hattermann F. F. Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios. *Water*. 2015. 7. Pp. 6139-6172. <https://doi:10.3390/w7116139>
19. Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin / Bisselink B. et al. *EUR 29228 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-7985889-5, JRC111817*. 2018. Pp. 3-70. <https://doi:10.2760/89828>
20. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Оцінка змін водних ресурсів річки Дунай у XXI сторіччі за сценарієм А1В з використанням моделі «клімат-стік». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. № 18. С. 112-122.
21. Changing climate shifts timing of European foods / Blöschl G. et al. 2017, *Science*, 357. Pp. 588-590.
22. Temporal variation of water discharges in the lower course of the Danube River across the area from Reni to Izmail under the influence of natural and anthropogenic factors / Romanova Y. et al. *Energetika*. 2019. Т. 65(2-3). Pp. 144-160. <https://doi.org/10.6001/energetika.v65i2-3.4108>
23. Шуйський Ю. Д. Про антропогенні та природні перетворення в дельті Дунаю. *Збірник наукових праць VI Міжнародної конференції Фальцфейнівські читання*, 21-23 травня. Херсон : ПП Вишемирський, 2009. С. 455-450.
24. Черой А. И., Картелян В. Ф. Перераспределение стока воды и наносов в Килийской дельте Дуная в условиях существования ГСХ «Дунай – Черное море». *Тезисы VII Международной научно-практической конференции Pontus Euxinus 2011 по проблемам водных экосистем, посвященная 140-летию Института биологии южных морей Национальной академии наук Украины*, 24-27 мая. Севастополь : ЭКОСИ. Гидрофизика, 2011. С. 254-255.
25. Bondar C., ioRDaChe G. Sediment transport on the Romanian section of the Danube River. *Geo-Eco-Marina*. 2016. 22. Pp. 83-108.
26. Panin N., Jipa D. Danube river sediment input and its interaction with the north-western Black Sea: results of EROS-2000 and EROS-21 projects. *National Institute of Marine Geology and Geo-ecology GeoEcoMar, Dimitrie Onciul Street*. No. 23-25. Pp. 1-14.
27. Baranya S., Józsa J. Estimation of suspended sediment concentrations with ADCP in River Danube. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2013. 61(3). Pp. 232-240.
28. Tamás E. A., Ficsor J. Questions in the quantitative analysis of sediment load – example of three major rivers in Hungary. *E3S Web of Conferences 40, 04023, River Flow*. 2018. Pp. 1-10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184004023>
29. Процеси формування хімічного складу поверхневих вод / Осадчий В. І. та ін. Київ : Ніка-Центр, 2013. 240 с.
30. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України : підручник : ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.
31. Осадчий В. І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін. *За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 31 травня 2017 року. ISSN 1027-3239. Вісник НАН України*. 2017. № 8. С. 29-45.
32. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011-2015 рр. та весь період спостережень). Частина 1. Річки. Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Довідкове видання. Київ, 2017. 465 с.
33. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия / под ред. М. С. Каганера. Т. 6. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 884 с.
34. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. «Украина и Молдавия», Том 6. Вып. 1, Западная Украина и Молдавия (без бассейна р. Днестр) / под ред. М. С. Каганера. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 491 с.
35. Вишневський В. І., Косовець О. О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка Центр, 2003. 324 с.
36. Швебс Г. І., Ігошин М. І. Каталог річок і водойм України : навч.-дов. пос. Одеса : Видавництво Астропринт, 2003. 392 с.
37. Тимченко В. М. Экологическая гидрология водоемов Украины. Київ: Наукова думка, 2006. 383 с.
38. СНІП 2.01.14-83. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Государственный гидрологический институт. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
39. Щербак А. В. Осенне-зимний ледовый режим советского участка р. Дуная. *Труды УкрНИГМИ*. 1970. Вып. 97. С. 70-83.
40. Gorbachova L., Khrystyuk V. The dynamics and probabilistic characteristics of the ice phenomena of the Danube River and its Kiliysky channel. *Conference proceeding «Water resource and wetlands»*: 14-16 September, Tulcea, Romania. / Edited by: Casretescu P, Lewis W., Bretcan P. 2012. Pp. 319-324.

## REFERENCES

1. *Gidrologicheskii spravochnik reki Dunay 1921-2010 / Dunajskaja komissija. Budapesht [Danube River Hydrological Guide 1921-2010 / Danube Commission]*. Available at: [http://www.danubecommission.org/uploads/doc/publication/2018/spravocnik\\_1921\\_2010.pdf](http://www.danubecommission.org/uploads/doc/publication/2018/spravocnik_1921_2010.pdf). (Accessed: 23.09.2020). Budapesht. (in Russ.)
2. Palamarchuk, M.M. & Zakorchevna, N.B. (2001). *Vodnyi fond Ukrainy [Water Fund of Ukraine]*: Edited by Khoriev V. M., Aliiev K. A. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
3. *Obshchie svedeniya o reke Dunay / Dunayskaya komissiya [General information about the Danube River / Danube Commission]*. Available at: <http://www.danubecommission.org/dc/ru/дунайское-судоходство/общие-сведения-о-реке-дунай/> (Accessed: 25.06.2020). (in Russ.)
4. Nikiforova, Ja.D. (ed.). (1963). *Gidrologiya ust'evoy oblasti Dunaya [Hydrology of the Danube estuary]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
5. Mihajlova, V.N. (2004). *Gidrologija del'ty Dunaja [Danube Delta hydrology]*. Moscow: GEOS Publ. (in Russ.)
6. Bondar, K. (1992) [The trend and cyclical nature of the annual flow of water on the Danube at the entrance to the delta]. *Sbornik dokladov XVI Konferentsii pridunayskikh stran po gidrologicheskim osnovam vodnogo hozyaystva [Collection of reports of the XVI Conference of the Danube countries on the hydrological foundations of water management]*, 18-22 may. Kelheim. National Committee of the Federal Republic of Germany for UNESCO IHP. Koblenz, pp. 321-325. (in Russ.)
7. Miliman, J.D. et al. (1995). River discharge to the sea. *A Global River Index / LOICZ Reports and studies*, 125 p.
8. Levashova, E.A. et al. (2004). Estestvennye i antropogennye izmeneniya stoka vody i наносов v ust'e Dunaya [Natural and anthropogenic changes in water and sediment runoff at the Danube estuary]. *Vodnye resursy [Water resources]*, 31(3), pp. 261-272. (in Russ.)
9. Pekárová, P. et al. (2019). Average daily discharge and



- annual peak discharge series collection. *Flood regime of rivers in the Danube River basin. Follow-up volume IX of the Regional Co-operation of the Danube Countries in IHP UNESCO. IH SAS*. Edited by Pekárová P., Miklánek P. Bratislava, 215 p. + 527 p. <https://doi:10.31577/2019.9788089139460>
10. Birsan, M.-V. et al. (2005). Streamflow trends in Switzerland, *Journal of Hydrology*, 314, pp. 312-329.
  11. Fürst, J. et al. (2008). Trends in hydrological variables and in Austria's water balance: Effects of climate change on Austrian water management. *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*. Edited by Nachtnebel H. P. Beč, Austrija, pp. 105-115.
  12. Pekárová, P. et al. (2008). Flood regime of rivers in the Danube River basin, *Regional cooperation of Danube Countries within the framework of UNESCO International Hydrological Program, PROJECT 9*, 51 p.
  13. Bormann, H. (2010). Runoff regime changes in German rivers due to climate change. *Erdkunde*, 64(3), pp. 257-279.
  14. Čanjevac, I. (2012). [Recent changes in flow ridges in the Croatian part of the Danube basin]. *Hrvatski geografski glasnik [Croatian Geographical Bulletin]*, 74(1), pp. 61-74.
  15. Stratimirović, D. et al. (2019). Changes in long-term properties of the Danube river level and flow induced by damming. *Water Resources Research*, pp. 1-25.
  16. Zabolotnia, T., Gorbachova, L. & Khrystiuk, B. (2019). Estimation of the long-term cyclical fluctuations of snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 7(2), pp. 1-12.
  17. Pekárová, P., Miklánek, P. (eds.). (2019). Flood regime of rivers in the Danube River basin. Follow-up volume IX of the Regional. *Co-operation of the Danube Countries in IHP UNESCO. IH SAS*, Bratislava, 215 p. + 527 p. <https://doi:10.31577/2019.9788089139460>
  18. Stagl, J.C. & Hattermann, F.F. (2015). Impacts of Climate Change on the Hydrological Regime of the Danube River and Its Tributaries Using an Ensemble of Climate Scenarios. *Water*, 7, pp. 6139-6172. <https://doi:10.3390/w7116139>
  19. Bisselink, B. et al. (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin, EUR 29228 EN. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, pp. 3-70. <https://doi:10.2760/89828>
  20. Loboda, N.S., & Bozhok, Yu.V. (2016) [Assessment of water resources change of the Danube river in the XXI Century under the scenario A1B using the model «climate-runoff»], *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 18, pp.112-122. (in Ukr.)
  21. Blöschl, G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods, *Science*, 357, pp. 588-590.
  22. Romanova, Y. et al. (2019). Temporal variation of water discharges in the lower course of the Danube River across the area from Reni to Izmail under the influence of natural and anthropogenic factors. *Energetika*, 65, pp. 144-160. <https://doi.org/10.6001/energetika.v65i2-3.4108>
  23. Shuiskyi, Yu.D. (2009). Pro antropohenni ta pryrodni peretvorennia v delti Dunaiu. [On anthropogenic and natural transformations in the Danube Delta]. *Zbirnyk naukovykh prats VI Mizhnarodnoi konferentsii Faltsfeinivski chytannia [Proceedings of the VI International Conference Faltsfein Readings]*, 21-23 may. Kherson: PP Vyshemyrskyi, pp. 455-450. (in Ukr.)
  24. Cheroj, A.I. & Karteljan, V.F. (2011). [Redistribution of water and sediment runoff in the Kiliya delta of the Danube under the conditions of the existence of the state agricultural holding "Danube - Black Sea"]. *Tezisy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Pontus Euxinus 2011 po problemam vodnykh ekosistem, posvyashchennaya 140-letiyu Instituta biologii yuzhnykh morey Natsional'noy akademii nauk Ukrainy [Abstracts of the VII International Scientific and Practical Conference Pontus Euxinus 2011 on the Problems of Aquatic Ecosystems, dedicated to the 140th anniversary of the Institute of Biology of the Southern Seas of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 24-27 may. Sevastopol': JeKOSI. Gidrofizika, pp. 254-255. (in Russ.)
  25. Bondar, C. & ioRDaChe, G. (2016). Sediment transport on the Romanian section of the Danube River, *Geo-Eco-Marina*, 22, pp. 83-108.
  26. Panin, N. & Jipa, D. Danube river sediment input and its interaction with the north-western Black Sea: results of EROS-2000 and EROS-21 projects, *National Institute of Marine Geology and Geo-ecology GeoEcoMar, Dimitrie Onciul Street*, No. 23-25, pp. 1-14.
  27. Baranya, S. & Józsa, J. (2013). Estimation of suspended sediment concentrations with ADCP in River Danube, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61(3), pp. 232-240.
  28. Tamás, E.A. & Ficsor, J. (2018). Questions in the quantitative analysis of sediment load – example of three major rivers in Hungary. *E3S Web of Conferences* 40, 04023, *River Flow*. pp. 1-10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184004023>
  29. Osadchyi, V.I. (ed.). (2013). *Protsesy formuvannia khimichnogo skladu poverkhnevnykh vod [Processes of formation of chemical composition of surface waters]*. Kyiv: Nika-Tsentr Publ. (in Ukr.)
  30. Khilchevskiy, V.K., Osadchyi V.I. & Kurylo S.M. (2019). *Regional hydrochemistry of Ukraine*. VPTs «Kyivskiy universytet» Publ. (in Ukr.)
  31. Osadchyi, V.I. (2017). [Resources and quality of surface waters of Ukraine in the conditions of anthropogenic loading and climate change]. *Za materialamy naukovoi dopovidni na zasidanni Prezydii NAN Ukrainy Visnyk NAN Ukrainy [According to the scientific report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine. Bulletin of the NAS of Ukraine]*. 31 may, vol. 8, pp. 29-45. (in Ukr.)
  32. Derzhavnyi vodnyi kadastr. Bahatorichni dani pro rezhym ta resursy poverkhnevnykh vod sushi (za 2011-2015 rr. ta ves period sposterezhen) [State Water Cadastre. Long-term data on the regime and resources of land surface waters (for 2011-2015 and the entire observation period)]. (2017). Issue 1. *Richky [Rivers]*. Vol. 1. *Baseiny Zakhidnoho Buhu, Dunaiu, Dnistra, Pivdennoho Buhu. Dovidkove vydannia [Basins of the Western Bug, Danube, Dniester, Southern Bug. Reference edition]*. Kyiv. (in Ukr.)
  33. Kaganer, M.S. (ed). (1969) *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Zapadnaya Ukraina i Moldaviya [Resources of surface waters of the USSR. Ukraine and Moldova]*. Issue 1: *Zapadnaya Ukraina i Moldaviya [Western Ukraine and Moldova]*. Leningrad: Giometeozidat Publ. (in Russ.)
  34. Kaganer, M.S. (ed). (1978). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Opisanie rek i ozer i raschety osnovnykh kharakteristik ikh rezhima [Resources of surface waters of the USSR. Description of rivers and lakes and calculations of the main characteristics of their regime]*. Issue 1: *Zapadnaya Ukraina i Moldaviya [Western Ukraine and Moldova]*. Leningrad: Giometeozidat Publ. (in Russ.)
  35. Vyshnevskiy, V.I. & Kosovets, O.O. (2003). *Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy [Hydrological characteristics of rivers of Ukraine]*. Kyiv: Nika Tsentr Publ. (in Ukr.)
  36. Shvebs, H.I. & Ihoshyn, M.I. (2003). *Kataloh richok i vodoim Ukrainy [Catalog of rivers and reservoirs of*

- Ukraine]. Odesa: Vydavnytstvo Astroprint Publ. (in Ukr.)
37. Tymchenko, V.M. (2006). *Ekologicheskaya gidrologiya vodoemov Ukrainy [Ecological hydrology of water bodies of Ukraine]*. Kyiv: Naukova dumka Publ. (in Ukr.)
38. State Hydrological Institute (1984). SNiP 2.01.14-83. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Manual for the determination of calculated hydrological characteristics]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
39. Shherbak, A.V. (1970). [Autumn-winter ice regime of the Soviet section of the river Danube]. *Trudy UkrNIGMI [Proceedings UkrSRHMI]*, 97. pp. 70-83. (in Russ.)
40. Gorbachova, L. & Khrystyuk, B. (2012). The dynamics and probabilistic characteristics of the ice phenomena of the Danube River and its Kiliysky channel. *Conference proceeding «Water resource and wetlands»*, 14-16 September. Tulcea, Romania, pp. 319-324.

## RESEARCH OF INDIVIDUAL COMPONENTS OF HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL REGIMES OF THE DANUBE RIVER WITHIN THE UKRAINIAN INTERVAL FROM RENI TO IZMAIL

Zh. R. Shakirzanova<sup>1</sup>, N. S. Kichuk<sup>1</sup>, Ye. O. Romanova<sup>1</sup>,  
I. D. Kichuk<sup>1</sup>, Yu. S. Medvedieva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, [jannetodessa@gmail.com](mailto:jannetodessa@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>*

<sup>2</sup>*National University "Odessa Maritime Academy", 8, Didrichson St., 65029, Odesa, Ukraine*

**Introduction.** This investigation aims at studying the individual components of the hydrological and hydrochemical regimes of the Danube River (within Ukraine) in connection with the widespread use of the river's water for water supply and irrigation in the southern region, as well as to ensure more effective regulation of water-salt regime of the Danube lakes using the Danube River as a main source for their water renewal. One of important aspects includes the study of the regime of the Danube River's suspended sediments brought to its delta due to their impact on the formation of the delta at the river's mouth of as well as due to the impact on siltation of deltaic and pre-delta lakes and canals connecting the lakes with the Danube River.

**Purpose.** The purpose of the work is to study long-term and current trends related to changes in hydrological (water levels and discharges, suspended sediments runoff) and hydrochemical (mineralization) regimes of the Danube River within the Ukrainian interval from Reni to Izmail, internal annual distribution of water runoff, as well as suspended sediments runoff and mineralization during the years of varying water content.

**Results.** The statistical analysis of long-term series of observations over the Danube River within the interval from Reni to Izmail resulted in discovering that time trends of average, maximum and minimum water levels (1921-2015) and discharges (1840-2015) indicate the presence of a weak increase in their growth over time, with a more pronounced increase in maximum water levels or discharges. The annual distribution shows the general synchronicity of fluctuations in runoff characteristics, and the maximum monthly values of water discharge differ have more pronounced seasonal fluctuations.

The study shows the presence of a pronounced trend to reduction of suspended sediments runoff of the Danube River at Reni (for the period of 1840-2015), with their most intensive decrease over the period of 1990-2015. Annual distribution of average monthly suspended sediments runoff of the Danube River for the years with typical water content (for the period of 1978-2015) showed that they have seasonal fluctuations. At the same time, there is a decrease in the suspended sediments runoff along the length of the river from Reni to Izmail.

The long-term course of average annual mineralization values of the Danube River at Izmail (1981-2015) is characterized by their decrease against the background of a small increase in average annual discharges. As per the annual distribution of mineralization values associated with all water content groups there are the periods related to the phases of the river's yearly water regime during and the economic use of water.

**Conclusion.** Thus, the increase in the long-term period of the Danube River runoff within the interval from Reni to Izmail will contribute to the development of the region's economy and water supply, irrigated farming, regulation of the Danube Lakes filling with weakly mineralized river

water. At the same time, the reduction of the suspended sediments runoff will restrain the siltation of the inlet canals connecting the lakes with the Danube River, which will improve the water renewal of the lakes with the river's fresh waters.

**Key words:** water regime of the Danube River; suspended sediments regime; mineralization; long-term tendencies, annual distribution.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ РЕКИ ДУНАЙ НА УКРАИНСКОМ УЧАСТКЕ РЕНИ-ИЗМАИЛ

Ж. Р. Шакирзанова<sup>1</sup>, Н. С. Кичук<sup>1</sup>, Е. А. Романова<sup>1</sup>,  
И. Д. Кичук<sup>1</sup>, Ю. С. Медведева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одесский государственный экологический университет  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, [jannetodessa@gmail.com](mailto:jannetodessa@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>

<sup>2</sup>Национальный университет «Одесская морская академия»  
ул. Дидрихсона, 8, Одесса 65029, Одесса, Украина

Данное исследование направлено на изучение отдельных составляющих гидрологического и гидрохимического режимов реки Дунай (в пределах Украины) в связи с широким использованием ее вод для водоснабжения и орошения в южном регионе страны, а также для более эффективного регулирования водно-солевого режима Придунайских озер, для которых пресные воды Дуная являются основным источником их водовозобновления.

В результате статистического анализа многолетних рядов наблюдений на р. Дунай на участке Рени-Измаил получено, что временные тенденции средних, максимальных и минимальных уровней (1921-2015 гг.) и расходов (1840-2015 гг.) воды указывают на наличие слабо выраженного их роста в течение многолетнего периода, с более выраженным повышением максимальных уровней или расходов воды. Внутригодовой ход показывает общую синхронность колебаний характеристик стока, а более выраженными сезонными колебаниями отличаются максимальные месячные величины расходов воды.

Выявлено наличие выраженного тренда к уменьшению стока взвешенных наносов на р. Дунай – г. Рени (за период 1840-2015 гг.), с наиболее интенсивным их снижением в период 1990-2015 гг. Внутригодовое распределение среднемесячных расходов взвешенных наносов р. Дунай для характерных по водности лет (за период 1978-2015 гг.) показал, что они имеют сезонные колебания. При этом наблюдается уменьшение расходов наносов по длине реки – от г. Рени до г. Измаил.

В многолетнем ходе средних годовых величин минерализации р. Дунай – г. Измаил (1981-2015 гг.) имеет место их уменьшение на фоне незначительного повышения средних годовых расходов воды; во внутригодовом распределении значений минерализации воды во все группы водности лет выделяются периоды, связанные с фазами водного режима реки в течение года и хозяйственным использованием вод.

**Ключевые слова:** водный режим р. Дунай, режим наносов, минерализация воды, многолетние тенденции, внутригодовое распределение

Подання до редакції: 11. 11. 2020  
Надходження остаточної версії: 23. 11. 2020  
Публікація статті: 17. 12. 2020