

МОНІТОРИНГ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ ДНІПРА У НОВІЙ КАХОВЦІ

Лозовіцький П.С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м.Київ

Lozovitskii@gmail.com

Наведено результати 59-річних досліджень змін загальної мінералізації та хімічного складу води р. Дніпро в межах м. Нова Каховка за період 1957-2015 рр. Кількісні та якісні зміни хімічного складу води Дніпра розглядаються згідно методики встановлення та використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Вода річки використовується для водопостачання й зрошення прилеглих земель, тому її оцінювання на придатність для водопостачання виконувались на основі Державних санітарних норм (ДСанПіН 2.2.4-171-10) і зрошення за рядом методик та державним стандартом на поливну воду (ДСТУ 2730-94). *Ключові слова:* моніторинг, вода, хімічний склад, мінералізація, екологія, оцінювання, водопостачання, зрошення.

Мониторинг минерализации и химического состава воды реки Днепр в Новой Каховке. Лозовицкий П.С. Приведены результаты 59-летних исследований изменений общей минерализации и химического состава воды р. Днепр в Новой Каховке за период 1957-2015 гг. Количественные и качественные изменения химического состава воды Днепра рассмотрены по методике установления и использования экологических нормативов качества поверхностных вод суши и эстуариев Украины. Вода реки используется для водоснабжения и орошения прилегающих земель, поэтому выполнена ее оценка на пригодность для водоснабжения на основании Государственных санитарных норм (ГСанПин 2.2.4-171-10) и орошения по ряду методик и Государственным стандартом на оросительную воду (ГСТУ 2730-94). *Ключевые слова:* мониторинг, вода, химический состав, минерализация, экология, оценка, водоснабжение, орошение.

Monitoring of mineralization and chemical composition of the Dnieper River water within the Nova Kachovka. Lozovitskii P. The results of 59 years of research on changes in the general mineralization and chemical composition of the Dnieper River water within Nova Kachovka for the period of 1957-2015 are presented. Quantitative and qualitative changes in the chemical composition of the water of the Dnieper are examined according to the methodology of setting and use of environmental quality standards for land surface water and estuaries of Ukraine. The water of the river is used for water supply and irrigation of the surrounding land, so its assessment is made on the suitability for water supply on the basis of the state sanitary norms (State Sanitary Rules and Regulations 2.2.4-171-10) and irrigation for a number of methodologies and state standards for irrigation water (DSTU 2730-94). *Keywords:* monitoring, water, chemical composition, mineralization, ecology, assessment, water supply and irrigation.

Дніпро є найголовнішою водною артерією України. Площа його водозбору 503 тис. км², довжина 2285 км, падіння річки – 252 м. Протягом 623 км річка протікає по території Росії, 582 км – по Білорусі (до м. Лоїв), транскордонна ділянка (по кордону Білорусі і України) – 67 км і 1013 км – на теренах України.

У межах України площа водозбору р. Дніпро – 286 тис. км² (57 % від усього басейну).

На ділянці Дніпра нижче гирла р. Сож створено шість водосховищ: Київське, Канівське, Кременчуцьке, Дніпродзержинське, Дніпровське та Каховське. Площа водозбору р. Дніпро до створу Каховської ГЕС становить 482 тис. км або 95,8 % всього басейну [17].

Найбільш значні притоки Дніпра до створу Каховської ГЕС: Березина, Сож, Прип'ять, Десна, Рось, Сула, Псел, Ворскла і Самара, що формують основну частину стоку в гирлі.

Безпосередньо у Каховське водосховище впадають невеликі степові річки: р. Кінська (лівий берег, має площу водозбору $F=2580$ км²), р. Томаківка (правий берег, $F=1020$ км²), р. Білозірка (лівий берег, $F=1430$ км²), р. Базавлук (правий берег, $F=4200$ км²).

Живлення р. Дніпро переважно снігове – частка талих вод у середньому становить 60 % річного стоку, може сягати 85 %.

Гідрологічний режим порушений господарською діяльністю (регулювання стоку, відбори річкової води на постачання народному господарству).

У формуванні стоку р. Дніпро чільне місце посідає весняне водопілля. Пропуск максимальних витрат води через каскад Дніпровських

ГЕС є найвідповідальнішим елементом режиму експлуатації каскаду Дніпровських ГЕС. Максимальні витрати весняного водопілля є найвищими за рік. Дощові паводки в режимі р. Дніпро явно не виражені.

До складу Каховського гідровузла входять: будівля ГЕС, водоскидна бетонна гребля, земляна гребля, однокамерний судноплавний шлюз. Клас капітальності будівлі – 1. Максимальний статичний напір – 16,5 м, мінімальний – 8,9 м, розрахунковий – 15 м. ГЕС суміщена з 12 донними водоскидами і розрахована на пропуск 4962 м³/с забезпеченістю 0,1%. Турбіни діаметром 8 м, витрата – 485 м³/с, потужність – 58,5 МВт. Водоскидна гребля має 28 отворів по 12 м кожний і розрахована для пропуску 15438 м³/с води. Питома витрата на рисбермі – 45,5 м³/с. Правобережна земляна гребля довжиною 1206 м, дамба – хвилелом – 1100 м. Шлюз однокамерний, система наповнення – розподільча, час наповнення або спрацювання – 10 хв., об'єм скидної призми – 82,5 тис. м³ [27].

Будівництво греблі Каховської ГЕС, підйом рівня води на 15 м в Каховському водосховищі кардинально змінили природні гідрогеологічні умови в західній частині Каховського зрошуваного масиву. Долина Дніпра нижче греблі Каховської ГЕС перетворилася з області розвантаження підземних вод у область їх живлення.

Під руслом Північнокримського каналу сформувався купол іригаційно-грунтових вод, що перешкодив потоку підземних вод зі сторони Олешківських пісків у східному напрямку.

В результаті гідротехнічних перетворень природи сформувався новий

фільтраційний потік підземних вод від Каховського водосховища до оз. Сиваш у південно-східному напрямку. Швидкість цього потоку складала біля 1 км/год [29, 30].

Мета й задачі досліджень – визначити якість води р. Дніпро, виявити закономірності її зміни у часі в пункті спостережень м. Нова Каховка (1957-2015 рр.). Задачі досліджень: виявлення динаміки зміни складу головних іонів, їх концентрації й мінералізації води в часі; оцінювання води за різними методиками іригаційних показників, державним стандартом та вмістом гіпотетичних солей на придатність використання для зрошення, [1, 2, 26, 28, 31, 33, 35]; оцінювання мінералізації й хімічного складу води Дніпра за нормами ДСанПіН 2.2.4-171-10 для водопостачання [16].

Методика досліджень

Для встановлення основних закономірностей формування й зміни інгредієнтів хімічного складу води річки Дніпра у просторово-часовому

вимірі та виявлення впливу на ці показники господарської діяльності людини було створено банк даних по результатах хімічних аналізів спостережень на стаціонарних гідрохімічних постах у системі Держгідрометслужби України, (1938-2015 рр.), результатах досліджень опубліковані у виданнях [3-13, 15, 23-25]. Паралельні статистичні ряди даних хімічного аналізу води становили для р. Дніпро – м. Нова Каховка – 621 значення. Аналіз хімічного складу води виконано за методиками [14, 28, 33, 34].

У роботі приведено математико-статистичний аналіз лише показників сольового складу, який виконано на персональному комп'ютері з використанням стандартних обчислювальних програм "Excel", «Costat», «Statistical» [32].

Результати досліджень.

Гідрофізичні властивості води.
Температура водного середовища впливає на швидкість розкладання та окиснення органічних речовин у воді. Вона пропорційна температурі

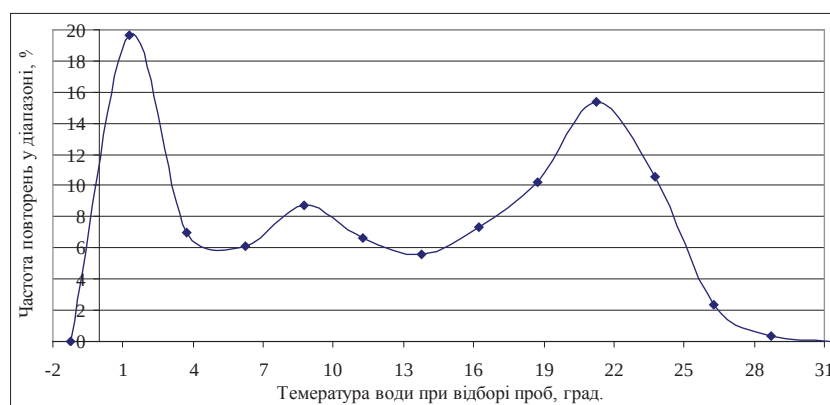


Рис. 1. Полігон розподілу й частота повторень значень температури води Дніпра в інтервалах вибірки при відборі проб води на аналізи, °C

води і зі зміненням температури на 10°C швидкість окиснення органічних речовин змінюється у 2,2 рази. Температура водного середовища та величина рН впливають на розчинення багатьох речовин, що потрапляють у водне середовище. Саме тому при кожному відборі проб води на аналізи [14] вимірювали температуру. Приведений на рис. 1 полігон розподілу температури води при відборі проб на аналізи має багатовершинні піки, які характеризують різні сезони року і різні фази водності.

Температура води Дніпра змінювалась від 0°C (1,53 % проб) до 30°C (03.08.1966 р.) при середньоарифметичному значенні $13,02^{\circ}\text{C}$. При цьому, середньоарифметична температура води при відборі проб у зимову межень становила $1,89^{\circ}\text{C}$, у весняну повінь – $7,87^{\circ}\text{C}$, у літню межень – $21,7^{\circ}\text{C}$, восени – $15,71^{\circ}\text{C}$.

Еколого-гідрологічні умови.

В природних умовах Дніпро у пониззі характеризувався середнім стоком $51,9 \text{ км}^3/\text{рік}$ з коливаннями від 22 до $96 \text{ км}^3/\text{рік}$. В період весняного водопілля проходило до 50-54 % річного стоку. Найбільші витрати у цей час сягали 25 тис. $\text{м}^3/\text{с}$.

Становлення сучасного водного режиму Дніпра і більшості складових його екосистеми відбувалося у 1947-1976 роки, коли поступово створювалися водосховища Дніпровського каскаду ГЕС. У цей час збільшувалися незворотні забори води (до 10-15 $\text{км}^3/\text{рік}$). Середній стік зменшився до 40-44 $\text{км}^3/\text{рік}$. Частка стоку у весняний період зменшилась до 36,3 %. Період стабілізації гідрологічного режиму Дніпра, у тому числі в районі його пониззя, почався після заповнення останнього у каскаді –

Канівського водосховища. Він складається з двох циклів: маловодного (до 1993 року) та близького до середньої водності (останні 18 років).

Середньорічні витрати води Дніпра через Каховську ГЕС за період з 1956 до 2015 рр. змінювалися від $566 \text{ м}^3/\text{с}$ у 2015 р. до 2600 – у 1970 р. при середньому багаторічному значенні $1327,3 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2).

Максимальні річні витрати води Дніпра через Каховську ГЕС змінювались від $9740 \text{ м}^3/\text{с}$ у 1958 р. до $1490 \text{ м}^3/\text{с}$ у 2015 р. при середньому багаторічному значенні $3187,6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Мінімальні річні витрати води на посту р. Дніпро – Каховська ГЕС змінювались від 12 у 1965 р. до $645 \text{ м}^3/\text{с}$ у 2012 р. при середньому багаторічному значенні $246,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Нині, при середній водності у створі Каховської ГЕС $42,5 \text{ км}^3/\text{рік}$, суттєво підвищився стік у зимовий та літньо-осінній періоди, весняне водопілля стало мало вираженим. Лише останні декілька років спостерігаються підвищені витрати води у весняні місяці.

На фоні загального зменшення стоку і зниження висоти весняного водопілля вирішальне значення для функціонування екосистеми Нижнього Дніпра набули нерівномірні протягом діб та тижнів попуски Каховської ГЕС. Вони зумовлюють короточасні коливання рівня води більшу частину року (крім весняних місяців).

Відчутну роль у водному режимі гирла Дніпра відіграють також коливання рівня води у східній частині лиману, обумовлені згінно-нагінними, припливними, сейшевіми, бризовими та іншими явищами, які розповсюджуються почасти до греблі Каховської ГЕС.

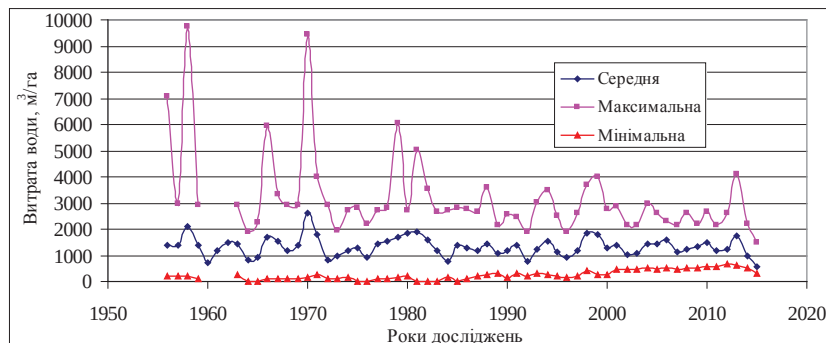


Рис. 2. Динаміка середніх, максимальних та мінімальних річних витрат води Дніпра через греблю Каховської ГЕС за період 1956-2015 рр.

В результаті в основному руслі, протоках, заплавних водоймах та інших елементах водної системи гирлової ділянки Дніпра практично протягом всього року (за виключенням весняних періодів високої водності, коли Каховська ГЕС

працює рівномірно) відбуваються короткочасні коливання рівня води.

Середньодобові рівні води у Каховському водосховищі змінювалися від 79 см 3.04.1959 р. до 480 см 2.05.1990 р. (рис. 3).

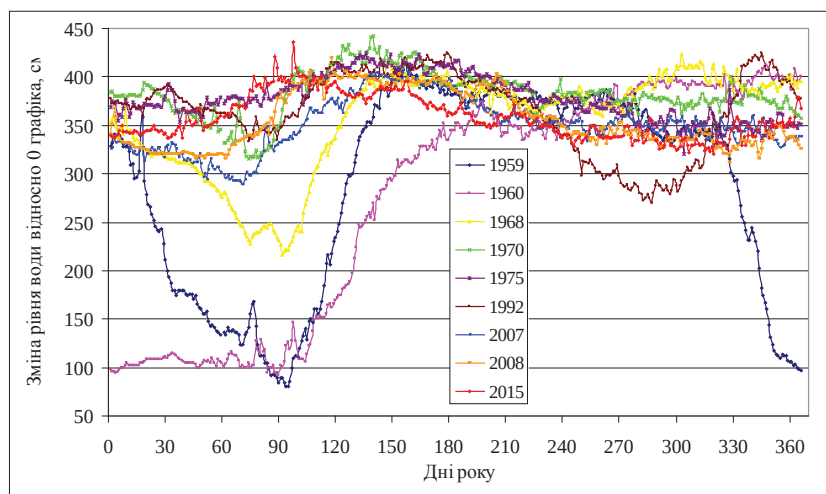


Рис. 3. Характерні середньодобові коливання рівня води у створі Каховської ГЕС у різні роки досліджень

Завдяки цим коливанням у літні періоди значні об'єми Дніпровської води проникають у заплавні водойми і понижені ділянки заплави, що забезпечує існування заплавних гідробіоценозів і реалізацію їх самоочисних спроможностей.

Статистичний аналіз матеріалів спостережень свідчить, що у 80-ті роки Каховська ГЕС здійснювала протягом доби два попуски у 42 % випадків. Одноразові попуски відбувалися лише у 27 % випадків. Рівномірний режим

стоку в нижньому б'єфі Каховської ГЕС, коли внутрішньодобові коливання рівня не перевищували 5 см, спостерігався у 31 % випадків (в період весняного водопілля). Особливістю режиму роботи ГЕС тоді було те, що одноразові попуски, як правило, здійснювались в періоди підвищеної водності Дніпра. Ця особливість зберігається і на сьогодні.

Одночасно співвідношення одного дворазових попусків у нижній б'єф кардинально змінилося. Осереднені за період з 1994 по 2013 роки дані свідчать про різке зменшення доли двопікових попусків – до 7 %. Проте в 60 % випадків ГЕС працює один раз на добу, що є погіршенням стану всіх елементів екосистеми Нижнього Дніпра за останні 20-30 років.

Режим вітру. Режим вітру формується в результаті впливу (вторгнення) повітряних мас з Атлантики та Скандинавії, Середземного моря (Атлантичні, Балтійські і Балканські циклони) та в результаті впливу периферії Сибірського антициклону.

На цій території в цілому переважають східні, північно-східні, західні та південно-західні вітри. В теплий період року домінують східні та північно-східні вітри, в холодний період – західні, південно-західні та східні вітри. Найбільше штилів спостерігається в теплу пору року (влітку – на початку осені) і сягає 5,4 %.

Середні річні швидкості вітру не перевищують 4 м/с. Середньомісячні швидкості вітру вищі в холодний період року (від 3,8 до 4,4 м/с) і зменшуються в теплий період року (до 3,0 м/с). Найменші швидкості вітру коливаються від 1,7 до 2,7 м/с. Максимальні швидкості вітру досягають від 30 до 34 м/с [17].

Найбільша кількість днів з сильними вітрами (від 10 до 15 м/с) припадає на холодний період (з листопада по березень) і сягає від 5 до 23 діб, > 25 м/с – на кінець холодного (лютий) та початок теплого періоду (квітень). Найменша кількість діб із сильними вітрами спостерігається в теплий період року (з квітня по жовтень) і становить від 1 до 4 діб. Максимальна кількість діб із сильним вітром з різною його швидкістю за рік становить від 45 до 187. Рози вітрів по м.с. Нова Каховка представлені на рисунку 4 [17].

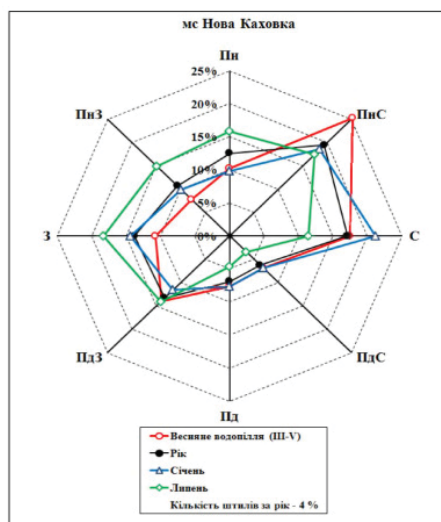


Рис. 4. Рози вітрів у м. Нова Каховка

Седиментаційний режим. Завислі речовини в Каховському водосховищі формуються в умовах різкого зменшення транспортуючої здатності потоку, що призводить до помітного освітлення води порівняно з річковими умовами. Але у Каховському водосховищі вода помітно каламутиться за рахунок переробки берегів вітровими хвилями. Крім того,

при косому підході хвиль до берегів утворюються вздовж берегові потоки наносів.

Намули поступають у водосховище із зовні (скиди з Дніпрогесу та бокова приточність) і утворюються в самому водоймищі в результаті абразії берегів і дна під впливом вітрового хвилювання та розвитку і відмирання фітопланктону.

У Каховське водосховище ззовні (алохтонні наноси) надходить щорічно в середньому 500 тис. тонн седиментів. У самому водосховищі (автохтонні наноси) утворюється 21700 тис. тон седиментів. Затримується в водосховищі 99,5 % наносів, тобто скидається лише 0,5 % або 111 тис. тонн. При побутовій нормі рідкого стоку $1340 \text{ м}^3/\text{с}$ (1956-2011 рр.) середня багатолітня каламутність води, що скидається із водосховища, становить біля $3 \text{ г}/\text{м}^3$ (за рахунок мінеральної складової) [17].

Формування, темпи накопичення, склад та властивості комплексу вторинних донних ґрунтів – донних відкладів значною мірою визначаються сукупністю джерел надходження формуючого їх матеріалу у водойму. В Каховське водосховище від цих джерел надходить до 21,7 млн. тонн речовини. Продукти розмиву дна до кінця 80-х років становить 1,4 середньорічної кількості продуктів розмиву берегів. При формуванні комплексу донних відкладів процес розмиву дна затухає, зберігаючись лише на мілководдях.

Зважені намули представлені мінеральними частинками і органічними сполуками. Органічна складова представлена фітопланктоном і продуктами його розпаду. Навесні органічна складова рідко перевищує 10-15 %, літом значення каламутності в самому водосховищі $25 \text{ г}/\text{м}^3$ часто сягає за рахунок фітопланктону. Щодо петрографічного складу, то в мінеральній частині намулів переважають кварц і монтморилоніт (різновид силікатів). Геохімічний склад характеризується домінуванням кремнезему (SiO_2) – до 70 % і глинозему (Al_2O_3) – до 10 % [17].

Уміст *зважених часток* у воді Дніпра у Новій Каховці коливався від 0 (4.01.1978 р., 6.08.1981 р., 26.03.1984 р., 21.01.1987 р., 3.12.1990 р., 26.05.1993 р. й ін.) до $74,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (28.10.1968 р.), а середнє арифметичне значення зважених часток за весь період спостережень – $3,36 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (табл. 1). Це значення відповідає 1 категорії якості за еколого-санітарними критеріями.

Крім того, 91,2 % проб води мали уміст зважених часток вищий за ГДК для джерел питної води, 59,85 % проб – за ГДК для водойм рибогосподарського призначення.

У зимову межень забруднення води зваженими частками становило 2,27, у весняну повінь – 2,57, літню межень – 3,37, восени – 4,05 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (табл. 2). Для прикладу, у воді Дунаю в Кілії ці значення більші, ніж у 40 разів вищі. Відповідно, у зимову межень – $97,98 \text{ мг}/\text{дм}^3$, у весняну повінь – 163,38, літню межень – $135,38 \text{ мг}/\text{дм}^3$ [20].

У зимову межень забруднення води зваженими частками становило 2,27, у весняну повінь – 2,57, літню межень – 3,37, восени – 4,05 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (табл. 2). Для прикладу, у воді Дунаю в Кілії ці значення більші, ніж у 40 разів вищі. Відповідно, у зимову межень – $97,98 \text{ мг}/\text{дм}^3$, у весняну повінь – 163,38, літню межень – $135,38 \text{ мг}/\text{дм}^3$ [20].

За середньоарифметичним вмістом зважених часток вода Дніпра у всі виділені періоди перевищувала ГДК для водойм питного призначення і в 1961-1970 належала до 5 категорії якості, у 2006-2010 рр. – до 2 категорії якості (*досить чиста*), у всі інші періоди – до 1 категорії якості. Загалом забруднення води Дніпра в межах

Таблиця 1

Статистичні характеристики кількісної і якісної мінливості хімічного складу води р. Дніпро – м. Нова Каховка за 1957-2015 рр., за 621 аналізу проб

Показники	Середнє значення	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Рівень надійності (95%)
Зважені частки, мг/дм ³	3,13	0,28	5,48	0	74,2	0,55
O ₂ , мг/дм ³	10,09	0,10	2,53	2,44	22,73	0,20
O ₂ , % насичення	92,01	0,77	18,20	27,00	166,00	0,53
Кольоровість, град	33,12	0,59	14,12	2,00	80,00	1,15
CO ₂ , мг/дм ³	10,08	0,1	2,53	2,44	22,73	0,20
CO ₃ ²⁻ , мг/дм ³	1,01	0,11	2,65	0	19,5	0,21
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	166,3	0,84	20,86	93,3	245	1,64
Cl ⁻ , мг/дм ³	28,58	0,46	11,35	1,7	84,7	0,89
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	48,06	0,63	15,73	11,9	122	1,24
Ca ²⁺ , мг/дм ³	45,45	0,28	6,91	13,8	76	0,54
Mg ²⁺ , мг/дм ³	15,01	0,19	4,65	1,7	33,8	0,37
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	25,13	0,46	11,46	0,2	62,17	0,90
Заг. мін., мг/дм ³	328,81	2,18	54,51	149,8	450,3	1,24
pH, од.	8,00	0,01	0,34	6,0	9,0	0,03
Жорсткість, мг-екв/дм ³	3,51	0,02	0,58	1,8	6,19	0,05
Температура, °C	13,02	0,35	8,46	0,0	30,0	0,69
CO ₃ ²⁻ , %-екв	0,38	0,04	1,06	0	8,97	0,08
HCO ₃ ⁻ , %-екв	60,87	0,28	7,06	37,42	85,77	0,56
Cl ⁻ , %-екв	17,31	0,21	5,24	2,48	38,14	0,41
SO ₄ ²⁻ , %-екв	21,75	0,20	4,97	5,83	40,76	0,39
Ca ²⁺ , %-екв	50,86	0,31	7,82	12,33	85,74	0,61
Mg ²⁺ , %-екв	27,07	0,27	6,64	4,54	52,39	0,52
Na ⁺ +K ⁺ , %-екв	22,05	0,34	8,41	0,18	48,50	0,66

Таблиця 2

**Середньоарифметичний уміст головних іонів і мінералізації води р. Дніпро –
м. Нова Каховка за різні періоди спостережень**

Інгредієнти	1957-60	1961-70	1971-80	1981-90	1991-95	1996-00	2001-05	2006-10	2011-15
Уміст у мг/дм ³									
Зважені частки	-	34,1	4,46	2,42	1,80	1,89	1,66	6,16	3,34
O ₂ , мг/дм ³	10,60	11,20	10,11	9,84	9,16	9,50	9,43	9,35	10,10
O ₂ , % насичення	97,68	102,98	90,01	88,03	81,81	90,10	92,30	91,29	95,07
Кольоровість	33,67	24,81	29,72	32,69	28,23	41,23	47,56	48,72	41,07
CO ₂	7,77	7,85	3,08	4,13	5,03	2,38	1,79	1,28	0,83
CO ₃ ²⁻	0,81	1,02	2,08	1,74	0,45	0,03	0,07	0,01	0,16
HCO ₃ ⁻	156,31	162,15	159,59	167,03	173,46	171,36	172,90	169,24	171,66
SO ₄ ²⁻	30,82	39,35	44,92	59,45	51,28	48,63	45,16	49,85	53,79
Cl ⁻	12,32	17,95	23,14	27,79	32,10	37,46	38,15	40,95	45,95
Ca ²⁺	43,27	44,51	42,94	46,46	43,38	42,77	48,59	49,36	50,43
Mg ²⁺	9,30	12,27	13,96	14,24	14,91	15,90	18,55	20,35	21,21
Na ⁺ + K ⁺	15,91	19,00	21,37	31,39	33,51	35,73	22,72	19,82	23,81
Мінералізація	268,90	295,76	305,74	347,01	348,64	351,84	346,07	349,67	366,85
Жорсткість	2,93	3,24	3,28	3,50	3,40	3,45	3,96	4,14	4,27
pH, од.	7,91	7,87	8,11	8,06	7,98	8,00	8,08	8,01	7,94
Температура, °C	14,24	13,07	12,81	11,53	11,59	14,01	15,26	13,94	13,82
Уміст у %-екв									
CO ₃ ²⁻	0,38	0,41	0,82	0,61	0,14	0,01	0,02	0	0,04
HCO ₃ ⁻	71,86	66,56	62,67	57,49	59,24	57,47	58,43	55,84	53,86
SO ₄ ²⁻	18,01	20,53	21,72	26,00	22,03	20,82	19,39	20,90	21,47
Cl ⁻	9,75	12,68	15,61	16,46	18,73	21,70	22,18	23,25	24,67
Ca ²⁺	60,62	55,70	51,22	48,89	46,07	43,86	49,94	49,97	48,46
Mg ²⁺	21,44	25,28	27,05	24,59	25,92	26,82	31,38	33,92	33,38
Na ⁺ + K ⁺	17,93	19,02	21,73	26,82	28,01	29,32	18,68	16,05	18,16

Нової Каховки зваженими частками є характерним і невисоким [26, 31].

Слід зазначити, що вміст **зважених часток** у воді Дніпра у верхів'ях Кременчуцького водосховища за цей період коливався від 0,05 (23.04.1990 р.) до 41 мг/дм³ (9.10.1985 р.), а середнє арифметичне значення зважених часток – 8,89 мг/дм³, що відповідає 2 категорії якості за еколого-санітарними критеріями [22]. У Неданчичах ці показники ще вищі. Динаміка коливання зважених часток становить 0,04-168 мг/дм³ при середньоарифметичному значенні – 9,82 мг/дм³. Це свідчить, що каскад дніпровських водосховищ сприяє зниженню концентрації зважених часток у стоку й накопиченню їх на дні водойм, що призведе до поступового замулення.

За усередненою **реакцією водного середовища** (рН = 7,99) вода Дніпра відноситься до слабо лужної, а граничні рівні становили: найнижче значення – 6,00 (30.04.1960 р.,

26.08.1963 р., 28.09.1964 р., 1.10.1971 р.), найвище – 9,00 (31.08.1964 р.).

Граничнодопустима величина рН для водойм рибогосподарського, господарсько-побутового, питного призначення 6,5-8,5. Цей поріг було перевищено в 26 пробах води з 601, що складає лише 4,33 %.

Динаміка коливання рН води у різних пунктах спостережень на Дніпрі й водосховищах часто не має наукового обґрунтування. Так, рН води у верхів'ях Кременчуцького водосховища у 1973, 1974, 1996-2000, 2007, 2012, 2016 роках була вищою, ніж у Дніпровському та Каховському водосховищах (рис. 4) [21]. Не піддається також логічному поясненню стрімке зниження й відновлення величини рН у Каховському водосховищі у літньо-осінній період 1963, 1964, 1971, 1990, 1995 та 2015 років. У зимовий період різких коливань величини рН протягом періоду досліджень не спостерігали.

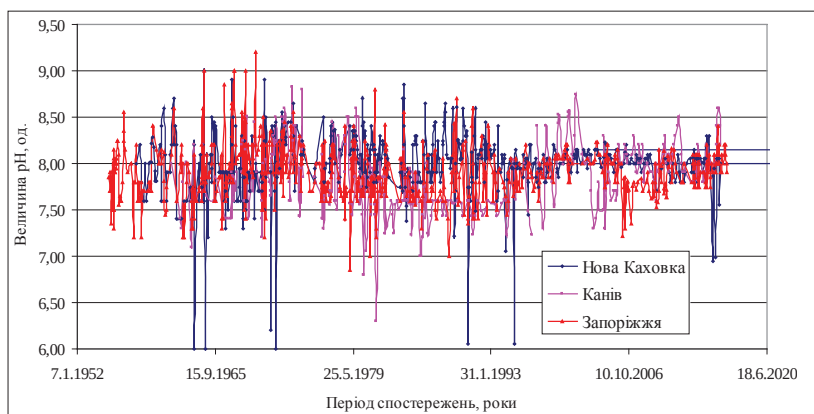


Рис. 5. Динаміка коливання величини рН у воді р. Дніпро протягом періоду досліджень

За середньоарифметичною величиною рН вода р. Дніпро у Новій Каховці у 1961-1970 рр. відносилася

до 2 категорії якості, у 1971-1980 рр. – до 4, у всі інші періоди досліджень. – до 3 категорії якості (табл. 2) [26].

За фазами водного режиму найвищу величину рН фіксували влітку, найнижчу частіше восени, а з 2000 року – в зимову межень (табл. 3).

Уміст кисню у воді Дніпра у Новій Каховці змінювався від 2,44 (5.08.1976 р.) до 22,73 (31.08.1964 р.) $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ при середньоарифметичному значенні за весь період досліджень 10,09 мг/дм^3 . При цьому лише в одній пробі з 592 зафіксовано уміст кисню нижчий за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення ($\leq 4 \text{ мг/дм}^3$) і 19 проб води мали уміст кисню нижчий ГДК для водойм рибогосподарського призначення (менше 6 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$), що становить 3,2 % від загальної кількості.

Якщо розглянути уміст розчиненого кисню у воді Дніпра за фазами розвитку водного режиму, то найвищі його концентрації припадають на весняну повінь (11,66 мг/дм^3 85,97 % насичення), найнижчі – на літню межень (8,59 мг/дм^3 95,3 % насичення).

Середньоарифметичні значення вмісту розчиненого кисню у воді Дніпра в часі змінювались від 9,16 (1991-1995 рр.) до 11,20 (1961-1970 рр.) $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ (табл. 2). Вода за вмістом кисню в усі періоди досліджень відносилася до 1 категорії якості – **дуже чиста**.

Кольоровість води річки Дніпро змінювалась від 2 (13.03.1989 р., 4.04.1991 р., 6.05.1991 р., 7.05.1991 р., 2.06.1991 р.) до 80 град. (29.09.1958 р.) при середньоарифметичному значенні 33,1 град. (табл. 1).

За фазами розвитку водного режиму найвищі значення кольоровості припадають на літню межень – 35,67 град., найнижчі – зимову межень (27,43 град.), у весняну повінь – 33,10 град., восени – 33,71 град.

У коротші проміжки часу усереднена кольоровість води Дніпра змінювалась від 9,16 град. за період 1991-1995 рр. до 11,2 град. за 1961-1970 рр.

Хімічний склад і мінералізація води р. Дніпро.

Уміст **діоксиду вуглецю** у воді річки змінювався від 0 (28.09.1964 р., 3.05.1984 р., 2.05.1990 р., 6.04.2013 р. й ін., загалом, 12,68 % проб) до 44,4 (3.11.1990 р.) мг/дм^3 при середньоарифметичному значенні 4,26 мг/дм^3 (табл. 1).

За фазами розвитку водного режиму найвищі значення діоксиду вуглецю припадають на зимову межень – 5,03 мг/дм^3 , найнижчі – літню межень – 3,85, у весняну повінь – 4,16, восени – 4,55 мг/дм^3 .

У часі уміст діоксиду вуглецю знижувався від 7,77 та 7,85 мг/дм^3 за періоди 1957-1960 та 1961-1970 рр. до 0,83 мг/дм^3 у 2011-2015 рр.

За даними фахівців, більшість гідробіонтів нормально розвиваються у водному середовищі при концентрації діоксиду вуглецю до 17 мг/дм^3 [28].

Жорсткість води р. Дніпро в межах Нової Каховки за період спостережень змінювалась від 1,80 (30.04.1958 р., 3.08.1970 р.) до 6,19 (21.03.1991 р.) при середньоарифметичному значенні 3,51 мг-екв/дм^3 (табл. 1, рис. 1). Середньоарифметичні значення жорсткості води річки за фазами водного режиму за весь період досліджень становили: 3,30 мг-екв/дм^3 у зимову межень; 3,59 – весняну повінь; 3,55 – літню межень; 3,50 – восени (табл. 2), що менше для усіх без виключення досліджених проб встановленого ГДК для води питного призначення ($\text{ГДК} = 7 \text{ мг-екв/дм}^3$). Для водойм рибогосподарського призначення цей показник не нормується.

Таблиця 3
Характеристика хімічного складу води Дніпра – м. Нова Каховка за фазами водного режиму, мг/дм³

Фаза водного режиму	Значень, n	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Міне- ра- лізація	pH
1961-2015 pp.										
зимова межень	109	43,55	13,62	24,22	0,18	158,87	45,33	26,14	311,75	7,94
весняна повінь	178	47,52	14,77	25,10	1,23	171,45	47,72	28,40	335,30	8,01
літня межень	191	45,51	15,41	25,90	1,74	168,09	49,94	29,17	334,55	8,07
осінь	148	44,10	15,71	24,89	0,46	163,04	47,64	29,67	325,16	7,93
1961-1990										
зимова межень	70	42,42	11,71	21,75	0,27	152,90	43,28	20,29	292,39	7,93
весняна повінь	112	48,01	12,99	22,87	1,86	179,55	46,79	22,18	333,90	8,02
літня межень	120	44,91	13,77	25,07	2,52	165,44	49,72	23,03	322,77	8,09
осінь	79	41,38	13,40	23,45	0,72	155,88	44,91	22,50	301,67	7,88
1991-2000										
зимова межень	17	39,90	13,80	34,61	0,03	163,72	46,85	30,86	333,39	7,99
весняна повінь	29	43,14	15,47	37,40	0,05	175,40	51,40	35,69	358,47	7,99
літня межень	29	43,98	15,58	33,80	0,63	176,13	51,44	35,93	356,86	7,97
осінь	32	44,02	16,13	32,50	0,25	171,58	50,33	34,09	348,65	7,96
2001-2015										
зимова межень	21	50,43	19,83	23,53	0	174,62	50,85	41,69	363,69	7,92
весняна повінь	37	49,73	19,91	21,77	0,04	170,99	47,59	42,27	352,25	7,97
літня межень	42	48,48	20,24	22,49	0,16	170,09	49,47	42,71	353,47	8,08
осінь	37	49,81	20,18	21,66	0,08	170,95	51,14	40,99	354,83	8,01
ГДК рибогосподарського призначення		≤ 180	≤ 40	≤ 120			≤ 100	≤ 300		6,5-8,5
ГДК господарсько-побутового використання			≤ 50	≤ 200			≤ 500	≤ 350	≤ 1000	6,5-8,5
Гранична межа 3 категорії екологічної оцінки							≤ 100	≤ 75	≤ 1000	6,6-8,1
ДСанПіН 2.2.4-171-10							≤ 250	≤ 250	≤ 1000	6,5-8,5

Варіанти більшості варіаційних рядів хімічного складу природної води (мінералізація, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) мають близький до нормального або логнормального розподілу ймовірностей. Емпіричні криві розподілу вибіркової сукупності мають як позитивну (Cl^- , SO_4^{2-}), так і від'ємну (HCO_3^- , мінералізація) помірну асиметрію (рис. 5). Умови нормальності розподілу підтверджуються правилом трьох сигм, коли потроєне стандартне відхилення середньо арифметичної завжди більше асиметрії (показник скоше-

ності кривої вибіркового розподілу) і ексцесу (показник гостровершинності кривої вибіркового розподілу), а 99,73 % усіх варіантів знаходяться в довірчому інтервалі від -3δ до $+3\delta$.

Варіанти вибірки загальної мінералізації води розподілилися в такий спосіб: 148-200 мг/дм^3 – 10 значень або 1,6 % від загальної кількості у вибірці; 200-252 – 30 (4,8 %), 252-304 – 134 (21,6 %); 304-356 – 246 (39,6 %); 356-408 – 169 (27,2 %); 408-460 – 25 (4,0 %); 460-512 – 3 (0,5 %), 512-564 – 2 (0,3 %); 564-616 мг/дм^3 – 2 значення або 0,3 % вибірки (рис. 6).

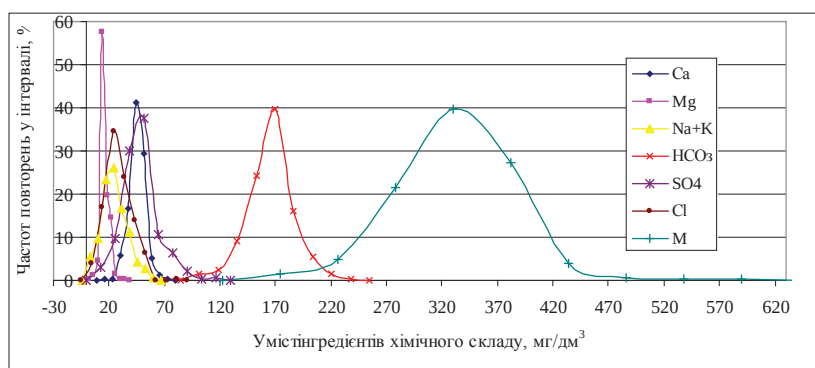


Рис. 6. Полігони розподілу й частота повторень значень в інтервалах вибірки загальної мінералізації й головних іонів води р. Дніпро – м. Нова Каховка за 1957-2015 рр.

Оброблення й систематизація багаторічних даних хімічного складу води (1957-2015 рр.) р. Дніпро – м. Нова Каховка свідчить, що за період спостережень **загальна мінералізація** води змінювалася від 150,3 мг/дм^3 (30.04.1958 р.) до 613,0 мг/дм^3 (19.10.1994 р.) при середньоарифметичному значенні 331,06 мг/дм^3 (рис. 5, табл. 1) [14-16].

При цьому лише 4 проби води річки з 621 мали мінералізацію вищу 500 мг/дм^3 і за переважуючою більшістю аналізів вода відносилася

до 1 класу 1 гіпогалінної категорії якості [26].

Протягом усього часу спостережень загальна мінералізація води річки мала різну амплітуду коливання, що пов'язано з урегулюванням стоку у 6 водосховищах, які розміщені вище по течії (рис. 6). За фазами водного режиму загальна мінералізація води р.Дніпро у Новій Каховці має незначні коливання, що також пов'язано з урегулюванням стоку: найменшу усереднену мінералізацію води за весь період досліджень фіксу-

вали у зимову межень 311,75 мг/дм³, найбільшу – 335,30 мг/дм³ у весняну повінь (табл. 3).

Серед головних іонів хімічного складу води р.Дніпро у Новій Каховці переважаючими є гідрокарбонат та кальцій. Амплітуда коливань умісту гідрокарбонатів у воді Дніпра є значною – від 93,3 мг/дм³ (1.07.1970 р.) до 245,0 мг/дм³ (31.07.1972 р.).

Середньарифметичне значення умісту гідрокарбонатів у воді річки за весь період досліджень – 166,30 мг/дм³. Для прикладу амплітуда коливань умісту гідрокарбонатів у воді р.Дніпро у Каневі за 1960-2015 рр. є значнішою, ніж у Новій Каховці: від 69 мг/дм³ (18.05.1979 р.) до 296,0 мг/дм³ (17.02.1971 р.) при середньарифметичному значенні 182,44 мг/дм³.

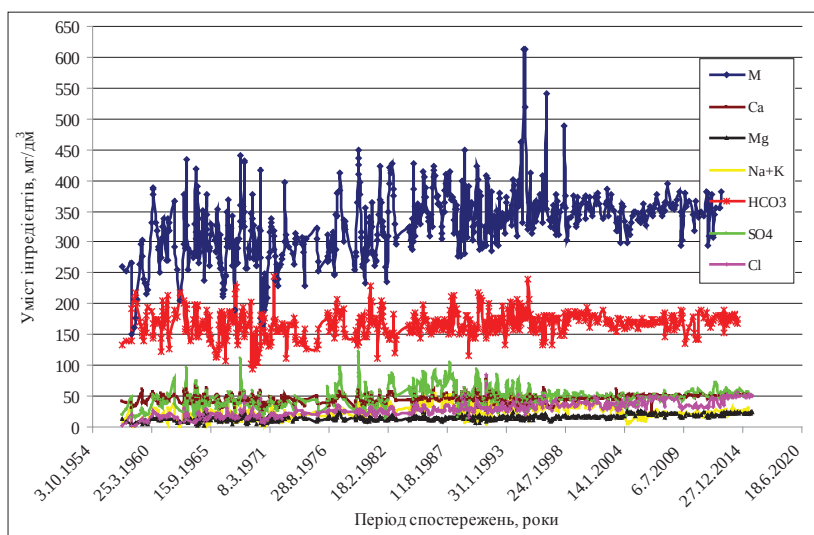


Рис. 7. Динаміка мінералізації та хімічного складу води Дніпра у Новій Каховці

Вибірка переважаючого аніона HCO_3^- у Новій Каховці за концентрацією має такий розподіл: 93-110 мг/дм³ – 9 або 1,44 % від загальної кількості; 110-127 – 15 (2,42 %); 127-144 – 56 (9,02 %); 144-161 – 151 (24,32 %); 161-178 – 246 (39,61 %); 178-195 – 100 (16,1 %); 195-212 – 33 (5,31 %); 212-229 – 9 (1,45 %); 229-246 мг/дм³ – 2 значення або 0,32 % (рис. 5). Якщо розглядати вміст гідрокарбонатів у воді Дніпра за фазами водного режиму, то вони найвищі у весняну повінь – 171,45 мг/дм³, а найнижчі – у зимову межень 158,87 мг/дм³ (табл. 3).

За вмістом переважаючого катіона Ca^{2+} вибірка розподіляється так: 13-20 мг/дм³ – 1 значення або 0,16 %; 20-27 – 2 (0,32 %); 27-34 – 36 (5,8 %); 34-41 – 104 (16,75 %); 41-48 – 255 (41,06 %); 48-55 – 183 (24,47 %); 55-62 – 32 (5,15 %); 62-69 – 7 (1,13 %); 69-76 мг/дм³ – 1 значення або 0,16 %. Концентрація катіонів кальцію у воді річки змінювалася від 13,8 (3.07.1985 р.) до 76,0 мг/дм³ (21.03.1991 р.). Середньарифметична концентрація кальцію у воді Дніпра у Новій Каховці за весь період спостережень становила 45,45 мг/дм³ (табл. 1).

У жодній з проб за весь період досліджень не відмічено перевищення ГДК для водойм рибогосподарського призначення (180 мг/дм³).

За фазами водного режиму концентрація кальцію у воді річки є такою: весняна повінь – 47,52, літня межень – 45,51, осінь – 44,10, зимова межень – 43,53 мг/дм³ (табл. 3).

Уміст сульфатів у вибірці розподілений так: 6-19 мг/дм³ – 16 значень або 3,06 % вибірки; 19-32 – 60 (9,66 %); 32-45 – 186 (29,95 %); 45-58 – 233 (37,52 %); 58-71 – 66 (10,63 %); 71-84 – 39 (6,28 %); 84-97 – 14 (2,25 %); 97-110 – 1 (0,16 %); 110-123 мг/дм³ – 3 значення або 0,48 % (рис. 2). Концентрація сульфатів змінювалась від 11,9 (27.06.1963 р.) до 122 мг/дм³ (15.06.1979 р.), при середньоарифметичному значенні 48,06 мг/дм³ (1 категорія якості). Уміст сульфатів у жодній з проб води р. Дніпро у Новій Каховці також не перевищував ГДК для водойм рибогосподарського призначення 500 мг/дм³. За фазами водного режиму уміст сульфатів був таким: зимова межень – 45,33, весняна повінь – 47,72, літня межень – 49,94, осінь – 47,64 мг/дм³ (усі усереднені значення відповідають 1 категорії якості) [26]. Для порівняння, вміст сульфатів у воді р. Дніпро поблизу Канева значно нижчий: зимова межень – 36,3, весняна повінь – 28,32, літня межень – 29,58, осінь – 33,25 мг/дм³.

Концентрація хлоридів у вибірці води р. Дніпро у Новій Каховці мала такий: 0-9,5 мг/дм³ – 24 значення або 3,9 %; 9,5-19,0 – 106 (17,1 %); 19,0-28,5 – 215 (34,6 %); 28,5-38,0 – 148 (23,8 %); 38,0-47,5 – 87 (14,0 %); 47,5-57,0 – 40 (6,4 %); 57,0-66,5 – 0; 66,5-76,0 – 0; 76,0-84,5 мг/дм³ – 1 зна-

чення або 0,16 %. Амплітуда коливання концентрації хлору у воді річки за період досліджень змінювалась від 1,7 мг/дм³ (30.04.1958 р.) до 84,7 (21.03.1991 р.) при середньоарифметичному значенні 28,58 мг/дм³. Це значення відповідає 2 категорії якості води за сольовим складом. У жодній із проаналізованих проб води не виявлено перевищення ГДК для водойм рибогосподарського призначення за хлоридами (350 мг/дм³).

За фазами водного режиму концентрація хлоридів у воді р. Дніпро не мала значних розбіжностей, але найвищою була восени – 29,67 мг/дм³, найнижчою у зимову межень – 26,14 мг/дм³ (табл. 3). За показниками вмісту хлоридів вода р. Дніпро у зимову межень, весняну повінь, літню межень і восени відносилася до 1 категорії якості [31].

Вибірка концентрації магнію у воді р. Дніпро – м. Нова Каховка має такий розподіл: 0-4,0 мг/дм³ – 1 значення або 0,16 % вибірки; 4,0-8,0 – 7 (1,13 %); 8,0-12,0 – 29 (4,67 %); 12,0-16,0 – 358 (57,65 %); 16,0-20,0 – 123 (19,81 %); 20,0-24,0 – 90 (14,49 %); 24,0-28,0 – 10 (1,61 %); 28,0-32,0 – 1 (0,16 %); 32,0-36,0 мг/дм³ – 2 значення або 0,32 % вибірки. Уміст магнію у воді річки змінювався від 1,7 (22.02.1965 р.) до 33,8 мг/дм³ (6.05.1990 р.) при середньоарифметичному значенні 15,01 мг/дм³. Необхідно відзначити, що значень концентрації магнію вищих за ГДК для водойм рибогосподарського призначення (40 мг/дм³) не зафіксовано. За фазами водного режиму вміст магнію у воді р. Дніпро за 1957-2015 рр. становив: весняна повінь – 14,77, літня межень – 15,41, осінь – 15,71, зимова межень – 13,62 мг/дм³ (табл. 3).

Вибірка умісту суми натрію та калію у воді р.Дніпро за 1957-2015 рр. розподілилася так: 0-7,0 мг/дм³ – 34 значення або 5,48 % вибірки; 7,0-14,0 – 61 (9,82 %); 14-21 – 144 (23,19%); 21-28 – 161 (25,93%); 28-35 – 104 (16,75 %); 35-42 – 70 (11,27 %); 42-49 – 27 (4,35 %); 49-56 – 17 (2,74 %); 56-63 мг/дм³ – 3 значення або 0,48 % вибірки. Уміст суми натрію та калію у воді р.Дніпро – м. Нова Каховка за період досліджень змінювався від 0,2 (30. 03.1965 р.) до 62,2 мг/дм³ (15.03.1994 р.) при середньоарифметичному значенні 25,13 мг/дм³. У жодній з проаналізованих проб води уміст натрію не перевищував ГДК для водойм рибогосподарського призначення.

За фазами водного режиму найвищим уміст суми натрію та калію був у літню межень – 25,90 мг/дм³, найнижчим – 24,22 мг/дм³ у весняну зимову межень (табл. 3). У весняну повінь і восени концентрація натрію становила 25,10 та 24,89 мг/дм³ відповідно.

Узагальнені результати зміни середньоарифметичної мінералізації й концентрації головних іонів у воді Дніпра за окремі 10 та 5-річні періоди досліджень наведено у табл. 2, що свідчить про поступове зростання загальної мінералізації води протягом 59-річних досліджень. Значення у окремі відрізки часу змінювалися від 268,90 мг/дм³ за 1957-1960 рр. до 366,85 мг/дм³ за 2011-2015 рр. Отже, загальна мінералізація води р.Дніпро у Новій Каховці за цей період досліджень зросла на 26,82 % і може бути охарактеризована як незначна. Тимчасове зниження загальної мінералізації води у 1996-2005 рр. викликане спадом промислового й сільськогосподарського виробництва,

зниженням скинутих стічних вод, зменшенням застосування агрохімічних засобів і мінеральних добрив на навколишніх землях басейну р.Дніпро.

Загалом, за цей тривалий час спостережень відмічено поступове незначне зростання загальної мінералізації води за рахунок хлоридів, сульфатів, магнію, натрію, кальцію та гідрокарбонатів. Отже, за екологічним критерієм мінералізації вода р.Дніпро у всі роки досліджень відносилася до прісної 1 категорії якості – гіпогаліної [26].

Більш-менш стабільними в ці періоди досліджень були і значення концентрації головних іонів. Так, середньозважений уміст гідрокарбонатів (переважаючого аніона) був найвищим у 1991-1995 рр. і становив 173,467 мг/дм³, найменшим 156,31 мг/дм³ – у 1957-1960 рр. (табл. 3), де найбільша різниця становить 9,89 %.

Забруднення води р.Дніпро компонентами сольового складу було незначним. Так, концентрація сульфатів у воді річки Дніпро – м. Нова Каховка у періоди досліджень 1957-1980 рр. та 1996-2010 рр. була нижчою граничної межі першої категорії (≤ 50 мг/дм³) і відносилася до 1 категорії якості (дуже чиста). У періоди 1981-1995 рр. та 2011-2015 рр. вода за цим показником відносилася до 2 категорії якості (чиста) [31].

За умістом хлоридів вода р.Дніпро у Новій Каховці в 1957-1970 рр. відповідала 1 категорії якості, у 1971-1990 рр. – 2 категорії якості, у 1991-2015 рр. – 3 категорії якості [26].

За критеріями іонного складу вода р.Дніпро у всі періоди досліджень відносилася до гідрокарбонатного класу, кальцієвої групи другого типу, що

Таблиця 5

Хімічний склад та мінералізація води малих річок, що впадають у Каховське водосховище
за певні періоди досліджень, мг/дм³

Назва річки	Період досліджень	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Мінералізація	pH
Мокра Московка	1973-1980	104,7	52,3	153,9	0,73	232,1	400,9	124,5	1069,0	7,73
	1981-1990	157,7	61,4	104,8	0,49	344,2	347,9	130,3	1146,9	7,5
	1991-2000	192,5	54,4	96,3	0,31	368,8	359,6	159,3	1234,8	7,76
	2011-2015	210,8	88,2	208,1	0	230,6	594,3	354,4	1693,7	7,90
Базавлук	1950-1955	118,9	52,3	147,6	-	312,0	283,7	188,8	1103,3	-
	1961-1970	138,2	58,5	200,6	0	321,9	364,9	237,9	1322	7,70
	1971-1980	118,8	71,6	165,6	1,1	258,8	396,7	205,4	1224,7	8,18
	1981-1990	177,8	75,4	148,7	0,91	368,5	410,8	230,4	1412,5	7,67
Кінська	1939-1940	133,5	38,7	84,7	0	245,9	221,1	171,6	895,4	7,30
	1947-1950	183,2	92,5	259,1	0,20	341,3	609,4	330,6	1816,3	8,06
	1961-1970	234,8	80,3	167,2	0	320,9	706,7	185,6	1695,5	7,35
	1981-1990	205,2	74,4	203,6	0,64	342,4	625,7	207,7	1659,7	7,79
	2005-2011	270,7	162,2	431,8	0	358,3	1278,1	430,7	2694,4	7,43
	1950-1960	63,3	33,3	143,6	17,1	202,1	196,7	154,1	800,8	8,56
Білосірка	1971-1980	70,9	64,7	343,6	8,30	186,9	223,7	559,1	1457,3	8,50
	1991-2000	69,0	66,8	220,5	8,48	251,3	315,6	266,4	1198,5	8,37
	2001-2010	68,9	64,9	239,5	11,4	226,5	290,7	336,6	1248,6	8,55
Кам'янка	1975-1976	214,0	75,7	137,5	8,7	354,0	496,7	212,3	1498,9	8,60
Томаківка	1940,1947	177,1	77,8	139,0	0	323,8	346,0	295,1	1358,9	7,4
	1971-1980	89,1	47,0	107,0	0,95	239,8	285,1	109,5	877,5	8,04

відповідає співвідношенню: $\text{HCO}_3^- \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \leq \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ [1]. Так, найбільший відсотковий уміст гідрокарбонатів у воді р.Дніпро 85,77 % від суми усіх аніонів було зафіксовано 10.07.1957 р., а найменший – 37,42 % 21.03.1991 р. при середньоарифметичному значенні 60,87 %. Відсотковий уміст інших аніонів змінювався в таких межах: SO_4^{2-} – від 40,76 до 5,83 %, Cl^- – від 38,14 до 2,48, CO_3^{2-} – від 0 до 8,97 % від суми аніонів.

Найвищий уміст переважаючого катіону кальцію становив 85,74 (22.02.1965 р.) %, а найменший – 12,33 % (3.07.1985 р.) при середньоарифметичному значенні 50,86 %. Відсотковий уміст інших головних катіонів у воді р.Дніпро за весь період досліджень змінювався у таких межах: Mg^{2+} – від 52,39 до 4,54 %, Na^+ – від 48,50 до 0,18, від суми катіонів.

Отже, маємо констатувати високу і стійку розбіжність концентрації головних іонів води Дніпра у м. Нова Каховка протягом періоду досліджень, викликану різними режимами охарактеризованими на початку статті, а також як сезонними, так і добовими коливаннями водності, викликаними роботою каскаду водосховищ та ГЕС.

Певною мірою на забруднення води Каховського водосховища компонентами сольового складу впливають маловодні притоки: лівобережні Мокра Московка, Кінська, Білозірка; правобережні – Томаківка, Солона, Базавлук, Кам'янка, що впадають переважно у верхню половину водойми і мають мінералізацію води в 2-6 разів вищу ніж у водосховищі. Води цих річок мають значно вищий уміст сульфатів і хлоридів ніж Каховське водосховище.

Іригаційна оцінка якості води. Каховське водосховище є найбільшим резервуаром прісної води в Україні, що систематично і в великій кількості використовується для зрошення земель з метою одержання високих та стабільних врожаїв сільськогосподарських культур. Вода для зрошення земель півдня України подається каналами: Північнокримським, Каховським, Дніпро – Кривий Ріг.

Оцінювання якості води річки р.Дніпро – м. Нова Каховка за методикою Буданова [2] є найбільш прийнятною для умов України і свідчить, що вода має мінералізацією до 500 мг/дм³ і не загрозлива для засолення ґрунтів. Співвідношення Σ іонів до суми $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ змінювалося від 1,80 (30.04.58) до 3,88 мг-екв/дм³ (17.02.1994 р.) при середньоарифметичному 2,60 і це свідчить, що вода не спроможна викликати засолення ґрунтів (табл. 6).

За загрозою натрієвого осолонцювання співвідношення $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ у воді річки змінювалося від 0,003 (30.03.1965 р.) до 3,25 (3.07.1985 р.) при середньоарифметичному значенні 0,46 мг-екв/дм³ (табл. 4). Це означає, що вода тільки в 16 пробах із 621 або 2,57 % загрозлива для натрієвого осолонцювання зрошуваних ґрунтів.

За методикою Буданова [2], якщо співвідношення Na^+ до $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ не більше 0,7, то це підтверджує придатність води для зрошення. У нашому випадку співвідношення $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ у воді р.Дніпро змінювалося від 0,002 (30.03.1965 р.) до 0,94 (17.02.1994 р.) при середньоарифметичному значенні 0,30, що підтверджує придатність води для зрошення без загрози натрієвого осолонцювання. Але в 10 пробах з 621 або в 1,61 %

Таблиця 6

Статистичні характеристики кількісної і якісної мінливості іригаційних показників природної води р. Дніпро – м. Нова Каховка за 1957-2015 рр., за 621 аналізом проб

Інгредієнти	Середній	Стандартна похибка	Уміст, мг/дм ³		Мінімальний	Максимальний	Рівень надійності, 95,0 %	ГДК
			Стандартне відхилення	Іригаційна оцінка якості води, мг-екв/дм ³				
pH	8,00	0,01	0,34	6,00	9,00	0,03	≤ 8,2	
Na ⁺ /Ca ²⁺	0,46	0,01	0,25	0,003	3,25	0,02	≤ 1,0	
Na ⁺ /Ca ²⁺ +Mg ²⁺	0,30	0,006	0,15	0,002	0,94	0,01	≤ 0,7	
СумаI/Ca ²⁺ +Mg ²⁺	2,60	0,01	0,29	2,00	3,88	0,02	≤ 4,0	
(Mg ²⁺ /Ca ²⁺ +Mg ²⁺)x100	34,71	0,29	7,27	5,02	79,44	0,57	≤ 50	
SAR	1,10	0,02	0,51	0,007	2,95	0,04	≤ 4,0	
HCO ₃ ⁻ Ca ²⁺	0,45	0,01	0,32	-1,46	2,36	0,03	≤ 2,0	
Na ⁺ /Сума катіонів	22,05	0,34	8,41	0,18	48,50	0,66	≤ 60	
HCO ₃ ⁻ , мг-екв/дм ³	2,73	0,01	0,34	1,53	4,01	0,03	≤ 3,5	
CO ₃ ²⁻ , мг-екв/дм ³	0,016	0,002	0,04	0	0,325	0,003	Відс.	
Cl ⁻ , мг-екв/дм ³	0,81	0,01	0,32	0,048	2,39	0,03	≤ 3,0	
Уsoleй екв. Cl ⁻	1,44	0,02	0,27	0,13	4,77	0,04	≤ 5,0	

випадків співвідношення катіонів перевищували встановлені нормативи.

За фазами водного режиму іригаційні показники за методикою Буданова

приблизно однакові, хоч найвищими є у зимову й літню межень, а за магнієвим осолонцюванням – восени (табл. 7).

Таблиця 7

**Іригаційне оцінювання води р. Дніпро – Нова Каховка
за фазами водного режиму**

Інгредієнти	Зимова межень	Весняна повінь	Літня межень	Осінь
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$	0,47	0,45	0,48	0,46
$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	0,31	0,30	0,30	0,29
Сума іонів/ $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	2,62	2,59	2,62	2,58
$(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})\cdot 100$	33,45	33,34	35,23	36,50
$\text{Na}^++\text{K}^+ / (\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{Na}^++\text{K}^+)\cdot 100$	22,50	21,72	22,43	21,76
SAR	1,10	1,10	1,13	1,08
$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$	0,43	0,44	0,48	0,47
HCO_3^- , мг-екв/дм ³	2,60	2,81	2,76	2,67
CO_3^{2-} , мг-екв/дм ³	0	0,02	0,03	0,01
Cl^- , мг-екв/дм ³	0,74	0,80	0,82	0,84
Σ солей екв. Cl^-	1,20	1,49	1,57	1,39

У часі найвищими показники іригаційної оцінки води р.Дніпра за методикою Буданова і іншими були в 1981-1990 та 1995-2000 рр., але вони не перевищували граничнодопустимих значень (табл. 8).

За оцінкою Можейко й Воротнік, вода р. Дніпро в усіх пробах також не загрозлива для осолонцювання ґрунтів. Уміст відношення $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100$ у воді р.Дніпро змінюється від 0,18 % (30.03.1965 р.) до 48,50 % (17.02.1994 р.) при середньоарифметичному значенні 22,05 %. При цьому не було жодної проби води, що мала значення вищі за 66 % (вода, непридатна для зрошення), тобто в 100 % проб вода є придатною для зрошення. За цією методикою вода у зимову межень мала найгірші показники, в весняну повінь – найкращі для зрошення (табл. 7), але різниця

між ними незначна. У часі найгіршими іригаційні показники води були в 1995-2000 рр., найкращими – у 2006-2010 рр. (табл. 8).

Іригаційна оцінка якості води Дніпра за *загрозою магнієвого осолонцювання зрошуваних ґрунтів* свідчить, що вміст магнію від суми магнію та кальцію за весь період досліджень змінювався від 5,02 % (22.02.1985 р.) до 79,44 % (3.07.1985 р.), при середньоарифметичному значенні 34,71 % (табл. 6). При цьому в 4 пробах води із 621 розраховані іригаційні значення перевищували граничнодопустимі для магнієвого осолонцювання ґрунтів, а середньоарифметичні значення в жодному з періодів дослідження не перевищували допустимих (табл. 6). За фазами водного режиму іригаційні показники найгіршими були восени, найкращими – у весняну повінь, але ця різниця незначна.

Таблиця 8

Зміна іригаційних показників води р. Дніпро – м. Нова Каховка у часі

Інгредієнти	1957- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1991- 1995	1995- 2000	2001- 2005	2006- 2010	2011- 2015
Na ⁺ /Ca ²⁺	0,29	0,35	0,43	0,57	0,66	0,70	0,38	0,32	0,38
Na ⁺ /Ca ²⁺ +Mg ²⁺	0,21	0,24	0,28	0,37	0,41	0,43	0,24	0,19	0,22
Сума іонів/ Ca ²⁺ +Mg ²⁺	2,42	2,48	2,56	2,74	2,85	2,86	2,48	2,40	2,45
(Mg ²⁺ /Ca ²⁺ +Mg ²⁺)*100	25,50	30,73	34,43	33,39	36,18	37,96	38,31	40,49	40,80
Na ⁺ +K ⁺ /(Ca ²⁺ +Mg ²⁺ +Na ⁺ +K ⁺)*100	16,53	18,37	21,73	26,45	28,01	29,32	18,41	16,04	18,16
SAR	0,73	0,85	1,02	1,38	1,48	1,57	0,93	0,78	0,92
HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺	0,40	0,43	0,47	0,42	0,67	0,67	0,40	0,31	0,29
HCO ₃ ⁻ , мг-екв/дм ³	2,56	2,66	2,62	2,74	2,84	2,81	2,84	2,77	2,81
CO ₃ ²⁻ , мг-екв/дм ³	0,014	0,016	0,035	0,029	0,007	0,001	0,001	0	0,002
Cl ⁻ , мг-екв/дм ³	0,348	0,51	0,65	0,78	0,91	1,06	1,08	1,16	1,30
Σ солей екв. Cl ⁻	0,94	1,16	1,46	1,55	1,47	1,59	1,53	1,55	1,75

Виконана оцінка води р. Дніпро за коефіцієнтом SAR [2] свідчить, що він змінюється від 0,05 (29.06.1962 р.) до 2,95 (17.02.1994 р.), а середньо-арифметичні значення в жодному з періодів досліджень не перевищували критичного рівня (табл. 8). При цьому усі проби води мали значення SAR нижчі за 8, тобто вода не загрожлива для засолення й осолонцювання ґрунтів.

За державним стандартом України [35] на поливну воду, вода р.Дніпро у Новій Каховці за більшістю компонентів хімічного складу відповідає 1 класу, але містить соду і є загрозливою для натрієвого осолонцювання й підлучення ґрунту. Вода річки містить також вищі, ніж допустимі, концентрації гідрокарбонатів, що може мати токсичну дію на вирощувані сільськогосподарські рослини при зрошенні [35].

Отже, за більшістю методів іригаційної оцінки вода р. Дніпро у Новій Каховці придатна для зрошення й

не вимагає поліпшення хімічного складу шляхом внесення кальцієвих солей. Вона вимагає ліквідації соди та зниження умісту карбонатів перед поливом.

Розрахунок кількості гіпотетичних солей у воді р. Дніпро [35] для оцінювання небезпеки токсичної дії на ґрунти й рослини дав такі результати. Вода в період досліджень періодично містила найбільш токсичну сіль – соду (NaCO_3 , табл. 9), яка викликає підлучення й натрієве осолонцювання зрошуваних ґрунтів. Так, уміст токсичних хлоридів натрію змінювався від 0 (11.05.1985 р.) до 1,502 мг-екв/дм³ (13.03.1989 р.), сульфатів натрію – від 0 (35,1 % проб) до 1,466 (31.10.1987 р.), сульфатів магнію – від 0 (9,5 % проб) до 1,358 (30.06.1984 р.), гідрокарбонатів магнію – від 0 (2,89 % проб) до 2,359 (3.07.1985 р.), нетоксичних сульфатів кальцію – від 0 (18,36 % проб) до 1,531 (21.03.1991 р.) мг-екв/дм³ (табл. 9).

Таблиця 9

Статистичні характеристики кількісної і якісної мінливості умісту гіпотетичних солей у природній воді р. Дніпро – м. Нова Каховка за 1957-2015 рр.

Інгредієнти	Уміст, мг-екв/дм ³					Рівень надійності, 95,0 %
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	
NaCO_3	0	0,325	0,016	0,002	0,044	0,003
$\text{Ca(HCO}_3)_2$	0,69	2,00	1,954	0,005	0,132	0,010
$\text{Mg(HCO}_3)_2$	0	2,359	0,722	0,012	0,305	0,024
NaHCO_3	0	1,245	0,050	0,005	0,017	0,010
CaSO_4	0	1,531	0,309	0,010	0,067	0,020
MgSO_4	0	1,358	0,406	0,010	0,066	0,020
NaSO_4	0	1,466	0,288	0,013	0,105	0,025
CaCl_2	0	1,037	0,009	0,003	0,074	0,006
MgCl_2	0	2,046	0,109	0,009	0,214	0,017
NaCl	0	1,502	0,717	0,011	0,284	0,022
Σ солей екв. Cl	0,129	4,771	1,437	0,021	0,515	0,041

Розрахована *кількість токсичних солей в еквівалентах хлору* [35] змінювалася від 0,129 (23.12.1969 р.) до 4,771 (19.06.1984 р.) мг/екв/дм³. За середньоарифметичним значенням цього показника 1,437 мг-екв/дм³ вода р.Дніпро – м. Нова Каховка придатна для зрошення будь-яких типів ґрунтів. Загалом уміст токсичних солей у воді річки значно нижчий допустимого для зрошення ґрунтів (≤ 5 мг-екв/дм³ в еквівалентах Cl- [35]).

Отже, за більшістю методів іригаційної оцінки та умістом токсичних гіпотетичних солей вода р. Дніпро – м. Нова Каховка є придатною для зрошення й не вимагає поліпшення хімічного складу перед поливом. Вона вимагає ліквідації соди в певні періоди та постійного зниження вмісту карбонатів перед поливом ґрунтів з нейтральною та лужною реакцією.

Висновки

За період спостережень загальна мінералізація води р. Дніпро – м. Нова Каховка змінювалася від 150,3 мг/дм³ до 613,0 мг/дм³ при середньоарифметичному значенні 331,06 мг/дм³. За фазами водного режиму найменшу усереднену мінералізацію води за весь період досліджень фіксували у зимову межень 311,75 мг/дм³, найбільшу – 335, 30 мг/дм³ у весняну повінь. При цьому води річки відносилися до прісних 1 класу 1 гіпогалінної категорії.

За критеріями іонного складу вода р.Дніпро у всі періоди досліджень відносилася до гідрокарбонатного класу кальцієвої групи другого типу, що відповідає співвідношенню $\text{HCO}_3^- \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \leq \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2+}$ [1].

Узагальнені результати зміни середньоарифметичної мінералізації

й концентрації головних іонів у воді оди досліджень свідчать про поступове зростання загальної мінералізації води протягом 59-річних досліджень. Значення в окремі відрізки часу змінювалися від 268,90 мг/дм³ за 1957-1960 рр. до 366,85 мг/дм³ за 2011-2015 рр. Отже, загальна мінералізація води р.Дніпро у Новій Каховці за цей період досліджень зросла на 26,82 % і може бути охарактеризована як незначна. Тимчасове зниження загальної мінералізації води у 1996-2005 рр. викликане спадом промислового й сільськогосподарського виробництва, зниженням скинутих стічних вод, зменшенням застосування агрохімічних засобів і мінеральних добрив на навколишніх землях басейну р.Дніпро.

Забруднення води р.Дніпро компонентами сольового складу було незначним. Так, концентрація сульфатів у воді р.Дніпро – м. Нова Каховка у періоди досліджень 1957-1980 рр. та 1996-2010 рр. була нижчою граничної межі першої категорії (≤ 50 мг/дм³) і відносилася до 1 категорії якості (дуже чиста). У періоди 1981-1995 рр. та 2011-2015 рр. вода за цим показником відносилася до 2 категорії якості (чиста) [31].

За умістом хлоридів вода р.Дніпро у Новій Каховці в 1957-1970 рр. відповідала 1 категорії якості, у 1971-1990 рр. – 2 категорії якості, у 1991-2015 рр. – 3 категорії якості [26].

За більшістю методів іригаційної оцінки та Державним стандартом України (ДСТУ 2730-94) вода р. Дніпро придатна для зрошення й не вимагає поліпшення хімічного складу шляхом внесення кальцієвих солей. Вона вимагає ліквідації соди в певні періоди та постійного зниження вмісту гідрокарбонатів перед поливом ґрунтів з нейтральною та луж-

ною реакцією. Якщо врахувати, що в зоні дії річки ґрунти мають і кислотну реакцію, то наявність у воді соди буде її ліквідувати.

За сольовим складом і мінералізацією вода р.Дніпро придатна для водопостачання і відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Література

1. Алёкин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод / Вопросы гидро-техники / О.А. Алёкин // Ленинград: Гидрометиздат, 1946. 240 с.
2. Буданов М.Ф. Система и состав контроля за качеством природных и сточных вод при использовании их для орошения / М.Ф. Буданов // Киев. : Урожай, 1970. – 48 с.
3. Гидрологический ежегодник 1961 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1964. – 242 с.
4. Гидрологический ежегодник 1962 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1964. – 299 с.
5. Гидрологический ежегодник 1963 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1966. – 313 с.
6. Гидрологический ежегодник 1964 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1966. – 303 с.
7. Гидрологический ежегодник 1965 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1967. – 415 с.
8. Гидрологический ежегодник 1970 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1972. – 395 с.
9. Гидрологический ежегодник 1971 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1976. – 352 с.
10. Гидрологический ежегодник 1972 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1976. – 628 с.
11. Гидрологический ежегодник 1975 г. Том 2. Вып. 4,5. – Киев. 1977. – 282 с.
12. Гидрохимический бюллетень. Материалы наблюдений за загрязненностью поверхностных вод на территории Украинской ССР. Ежеквартальные выпуски. 1967-1980 гг. Киевская гидрометеорологическая обсерватория.
13. Гидрохимия Днепра, его водохранилищ и притоков. – К. Наукова думка. 1967. – 316 с.
14. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. – М.: Госстандарт, 1985. – 15 с.
15. Денисова А.И. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ / А.И.Денисова, В.М. Тимченко, Е.П. Нахшина. – К. Наукова думка. 1989. – 216 с.
16. Державні санітарні норми та правила. "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). [Текст] Київ. 2010. 42 с.
17. Заключний звіт № 1606-69-Т7 «Будівництво Каховської ГЕС-2. Техніко-економічне обґрунтування: Оцінка впливу на навколишнє середовище». Укргідропроект. Харків. 2015. – 131 с.
18. Лозовіцький П. Хімічний склад води річок українського Полісся і екологічна оцінка їх якості / П. С. Лозовіцький, А. Лозовицький // Водне господарство України. 2007. № 5, С. 45-54.
19. Лозовіцький П.С. Передкартографічні дослідження складу води річки Десни / П.С. Лозовіцький, Ю.А. Лузовіцька, А.П. Лозовицький, А.М. Молочко, М.А. Молочко // Картографія та вища школа. К.: Інститут передових технологій, 2009. Вип. 14. – С. 73-83.
20. Лозовіцький П.С. Моніторинг якості води річки Дунай у м. Кілія / П.С. Лозовіцький // Причорноморський екологічний бюлетень. 2011. № 4. С. 158-182
21. Лозовіцький П. С. Моніторинг мінералізації та хімічного складу води Дніпра в межах Канівського природного заповідника / П.С. Лозовіцький // Часопис картографії. – 2016. Вип.15. Частина 2. – С. 78-97.
22. Лозовіцький П. С. Екологічний стан та екологічне оцінювання води Дніпра в межах Канівського природного заповідника / П.С. Лозовіцький // Часопис картографії. 2016. – Вип.15. Частина 2. – С. 125-154.
23. Материалы наблюдений на водохранилищах (Дополнение к гидрологическому ежегоднику т. 2. Вып. 4) 1961-1964 гг. – К. 1966. – 994 с.

24. Матеріали спостережень на водохранилищах и озерах (Дополнение к гидрологическому ежегоднику 1968 г. т. 2. Вып. 0, 4, 5, 6, 9). К. 1971 г. – 345 с.
25. Матеріали спостережень на водохранилищах и озерах (Дополнение к гидрологическому ежегоднику 1969 г. т. 2. Вып. 0- 6). К. 1972 г. – 296 с.
26. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуарій України / Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіук О.П. та ін. // К., 2001. 48 с.
27. Обухов С.В. Каховському водосховищу – 55 років / Український гідрометеорологічний журнал, 2012, №10. – С. 116-125.
28. Романенко В.Д. Основи гідроекології, підручник для студентів екологічних і біологічних спец. вузів / В.Д. Романенко. – К.: Обереги. – 2001 р. – 728 с.
29. Рябцев М.П. Схема районирования зоны устойчивого подтопления приморских территорий Херсонщины и северного Прииславья / Меліорація і водне господарство. 2007. Вип. 95. – С. 167-176.
30. Рябцев М.П. Гидрогеологическая обстановка в зоне биосферного заповедника «Аскания-Нова» и его защита от подтопления / Меліорація і водне господарство. 2010. Вип. 98. – С.208-217
31. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: Підручник / С. І. Сніжко // К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.
32. Статистические методы в гидрологии // Под ред. Г.А. Алексеева. – Л. Гидрометеоиздат. 1970. – 270 с.
33. Таубе П.Р. Химия и микробиология воды / П.Р. Таубе, А.Г. Баранова // М.: Высш. шк., 1983. – 280 с.
34. Унифицированные методы анализа вод СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 144 с.
35. Якість води для зрошення. Екологічні критерії. ВНД 33-5,4-02.97 [Текст] // Державний комітет України по водному господарству. Введ. у дію з 01.04.1998 р. – Харків, 1998.