

ЧИСЛОВІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ

В.П. Сизоненко¹

ORCID: 0009-0007-2274-5838
jasizyj@yahoo.com

О.Л. Шевченко²

ORCID: 0000-0002-5791-5354
shevch62@gmail.com

УДК 556.048: 546.790

DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.087>

ОЦІНКА ОБ'ЄМУ ВНУТРІШНЬОГО ВОДООБМІНУ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ ПРО ВОДНЕ ВИНЕСЕННЯ ⁹⁰Sr

- ¹ Інститут програмних систем НАН України, Київ
² Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна

З огляду на те, що гідродинаміка внутрішнього і зовнішнього водообміну водосховищ формує в них принципово різні умови життя гідробіонтів і суттєво впливає на якість води, постає задача виділення об'ємів внутрішнього і зовнішнього водообміну. Метою роботи є отримання оцінок величин та мінливості об'ємів внутрішнього і зовнішнього водообміну в Київському водосховищі в залежності від рівня водосховища. Методом дослідження є натурне моделювання, яке полягає у спостереженні за розсіюванням у просторі деякої штучно введеної в потік пасивної консервативної домішки (трасера). В якості трасера пропонується ⁹⁰Sr, який за своїми властивостями майже відповідає вимогам до речовини-трасера. Використано дані моніторингових гідрологічних і радіологічних спостережень 1990–1991, 1993–1994 та 1998–1999 років. За даними щодо надходжень ⁹⁰Sr у верхів'я Київського водосховища у 1991, 1994, 1999 рр., що мали характер різких сплесків, і даними концентрацій ⁹⁰Sr на витоку з Київського водосховища, встановлені значення часу транспортування і об'єми, які відповідають часу транспортування забруднення до витоку з водосховища. Керуючись часом транспортування і даними, стосовно витрат води у водосховищі, які розраховано за балансовою моделлю, отримано значення об'ємів внутрішнього і зовнішнього водообміну, а також частин які ці об'єми становлять від повного об'єму водосховища. Побудовано інтерполяцію залежності об'єму внутрішнього водообміну від рівня Київського водосховища. Отримані результати добре співпали з окремими результатами, які було отримано із застосуванням гідродинамічної математичної моделі з використанням методу повних потоків іншою групою дослідників. Залежність об'ємів внутрішнього і зовнішнього водообміну водосховищ від рівня водосховища може використовуватись при визначенні часу транспортування забруднення вздовж водосховища, для екологічних оцінок і прогнозів, пов'язаних з вивченням умов формування якості водних ресурсів.

Ключові слова: водосховище, об'єм внутрішнього водообміну, рівень води, час транспортування, ⁹⁰Sr.

ВСТУП

Під водообміном мається на увазі процес, під час якого частинки (об'єми) води, що займають певні простори, замінюються іншими частинками (об'ємами), які перебували в суміжній частині простору. Під час дослідження водойм водообмін прийнято ділити на зовнішній і внутрішній. До зовнішнього водообміну у водосховищах відносять процес витіснення "старих" водних мас "новими", а внутрішній відбувається за рахунок дрейфових та компенсаційних течій, а також вітрового хвилювання, коливання рівня води, довгих прямих та зворотних хвиль й інших внутрішніх явищ (Денисова и др., 1989). Чим більший зовнішній водообмін, тим ін-

тенсивніше відбувається переміщення водних мас і відповідно перенесення забруднення, яке потрапило у водосховище. Так, на ділянках кожного із водосховищ є зони, де здійснюється основний трафік водних мас між вище і нижче розташованими ГЕС, об'єми яких визначають час транспортування води. Такі об'єми називають об'ємами зовнішнього водообміну, або об'ємами транзитних зон (Тимченко, 2010) (в англійській мові публікація *active mixing volume* — активний об'єм змішування (Matthew et al., 2000)). Відповідно, коли мова йде про внутрішній водообмін використовують термін "об'єм внутрішнього водообміну", або об'єм нетранзитних зон.

На швидкості водообміну базуються теорія та емпіричні залежності для визначення коефіцієнтів самоочищення поверхневих вод в динамічних та статичних умовах у водосховищах та річках (Тимченко, 1990; Лаврик, Никифорович, 1998).

З огляду на те, що гідродинаміка транзитних і не транзитних зон водосховищ формує в них принципово різні умови життя гідробіонтів і суттєво впливає на якість води, виділення транзитних і не транзитних зон в конкретних умовах становить інтерес.

Метою даної роботи є встановлення залежності об'єму внутрішнього водообміну від рівня Київського водосховища.

Стан вивченості. В багатьох джерелах зокрема в роботах (Денисова и др., 1989; Обухов, 2017), наводяться характеристики водообміну у відкритих резервуарах, такі як коефіцієнт водообміну, період водообміну, коефіцієнт водооновлення, період водооновлення та інші, для років різної водності з щомісячною деталізацією. Проте, наведені показники визначаються за умов ряду припущень, на наш погляд, не обґрунтовані достатньо точними вимірюваннями, не чіткі і не дають уявлення про конкретні об'єми водообміну. В роботі (Тимченко, 2010) завдяки гідродинамічній моделі, у якій використано метод повних потоків для випадку малих глибин, авторами виділено транзитні і нетранзитні зони в дніпровських водосховищах. В результаті вдалося оцінити об'єми транзитних і не транзитних зон водосховищ. Але така оцінка зроблена лише для одиничних окремих фіксованих об'ємів самих водосховищ за умови ряду припущень.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з методів дослідження водойм є натурне моделювання, яке полягає у спостереженні за розсіюванням у просторі деякої штучно введеної в потік пасивної консервативної домішки (флуоресцеїн, уранін, родамін тощо). Параметри потоку визначають за зміною концентрації барвника або за розмірами хмари його розсіювання. Зв'язок між піковою концентрацією та часом пробігу є найкращим з усіх співвідношень, необхідних для прогнозування перенесення та розсіювання забруднювальних речовин (Richardson, Carling, 2006, Gonzalez-Pinzonet al., 2013). Зрозуміло, що для водосховища, з огляду на розміри об'єкта, такий метод складно застосувати. Але може бути використано наявні дані про надходження ^{90}Sr у верхів'я Київського водосховища у 1991, 1994, 1999 рр., коли концентрації ^{90}Sr мали характер різких сплесків і відповідні їм дані в районі Київської ГЕС.

Об'єм транзитної зони $V_t(h)$ можна визначити як

$$V_t(h) = T_t Q, \quad (1)$$

де T_t — час транспортування (час витіснення "старих" водних мас "новими" з транзитної зони); Q — витрати води у водосховищі.

Гідрологічні дані (витрати води в притоках, рівні водосховищ на постах спостереження) вимірюють лише щодобово. Тому, при аналізі процесів у водосховищах весь часовий інтервал розбивають на періоди сталості даних (зазвичай в одну добу), під час яких гідрологічні дані вважають незмінними і такими, що відповідають виміряним. За відомого з даних спостережень значення T_t (час переміщення піку концентрації від верхів'я Київського водосховища до Київської ГЕС) кількість періодів сталості даних дорівнює

$$n = T_t / t_p, \quad (2)$$

де t_p — період сталості даних.

При цьому рівняння (1) набуває вигляду суми n об'ємів, що витісняються на кожному з попередніх періодів сталості даних

$$V_t(h) = \sum t_p Q_i, \quad (3)$$

де Q_i — витрати води з водосховища на кожному з n інтервалів сталості даних. Таким чином з (3), за умови сталого значення рівня водосховища (h), під час транспортування, можна визначити об'єм транзитної зони.

З іншого боку

$$V_n(h) = V(h) - V_t(h) = k(h) V(h), \quad (4)$$

де $V(h)$ — об'єм водосховища, а $V_n(h)$ — відповідно об'єм нетранзитних зон; $k(h)$ — визначає частину не транзитних зон в загальному об'ємі водосховища.

За даними (Каганер, 1976) об'єми водосховища визначають за кривими функцій об'ємів від рівнів (h) води у водосховищах

$$V(h) = n_2 h^2 + n_1 h + n_0, \quad (5)$$

де n_0, n_1, n_2 — константи, а h — рівень водосховища в Балтійській системі координат. Для Київського водосховища рівняння (5) має вигляд (при розмірності V в км³):

$$V(h) = (84,2044 \cdot h^2 - 16423 \cdot h + 801987,8) \cdot 0,001. \quad (6)$$

Витрати води з водосховища Q_i на кожному з інтервалів сталості даних визначались як різниця сумарних витрат води, що надходять з притоками до водосховища і швидкості зміни об'єму водосховища за період сталості даних.

$$Q_i = \sum P_{ij} - (V(h_{is}) - V(h_{if})) / t_p, \quad (7)$$

де P_{ij} — витрати води в j -тому притоці на i -тому періоді сталості даних; $V(h_{is})$ і $V(h_{if})$ — об'єми водосховища на початку і в кінці періоду сталості даних. Такий підхід може вносити значну невизначеність, оскільки не враховує з необхідною детальністю усі

компоненти водного балансу: бічну приточність, опади, випаровування, незворотне водоспоживання і т. ін. Проте, за умов, що ці складові значною мірою компенсують одна одну, вони матимуть дружне значення.

В Центральній геофізичній обсерваторії імені Бориса Срезневського (ЦГО) та в Українському гідрометеорологічному центрі накопичено дані щодобових витрат води по основних притоках Київського водосховища і значення рівнів. Це дає змогу розраховувати витрати води з водосховища Q_i на кожному з інтервалів сталості даних (7).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Після Чорнобильської катастрофи на ґрунті утворились плями радіоактивних випадінь, з яких радіонукліди поступово змиваються і потрапляють у водосховища Дніпровського каскаду. Головне джерело надходження ^{90}Sr у верхів'я Київського водосховища — річка Прип'ять. У 1991, 1994, 1999 рр. через високі повені і льодові затори мали місце затоплення забруднених територій і, як наслідок, різкі зростання концентрацій ^{90}Sr у воді р. Прип'ять (Радиоекологія водных объектов ..., 1997; Present and Future..., 2001; Экологические последствия..., 2008). Після катастрофи на Чорнобильській АЕС у межах зони відчуження і на основних річках були створені станції моніторингу якості води з метою визначення концентрацій радіонуклідів. Такі

станції фіксували проходження піків концентрації ^{90}Sr від верхів'я водосховища до Київської ГЕС. Дані радіологічних вимірювань ДСП "Екоцентр" і УкрГМІ дають змогу оцінити час транспортування ^{90}Sr вздовж водосховища.

На *рис. 1* представлено дані вимірювань за період 05.02.1994–15.04.1994 рр. концентрацій ^{90}Sr у гирлі р. Прип'ять (червона лінія, якій відповідає ліва шкала графіка) і дані вимірювань різних організацій біля Київської ГЕС (кольорові крапки, яким відповідає права шкала). Видно, що різкому зростанню концентрації у гирлі Прип'яті 14.02.1994 відповідає максимальне зростання концентрації біля ГЕС 14.03.1994 р. Час транспортування під час межені — один місяць. Підвищення концентрації 08.04.1994 р. в районі ГЕС є наслідком сплеску концентрації в гирлі р. Прип'ять 29.03.1994. У цьому випадку потрібний для транспортування термін під час повені — десять діб.

Таким чином, використовуючи фактичні дані щодо концентрацій ^{90}Sr як трасера, можна оцінити час транспортування водних мас вздовж Київського водосховища за різних гідрологічних ситуацій. Проте, слід також мати на увазі, що ^{90}Sr не є ідеальним трасером, який повинен бути пасивним і консервативним. Натомість ^{90}Sr розпадається як радіонуклід і сорбується донними масами. Та з огляду на те, що період напіврозпаду ^{90}Sr складає 28,79 років, а в дно водосховища депонується під час транспортування не більше 5% (Радиоекологія водных объек-

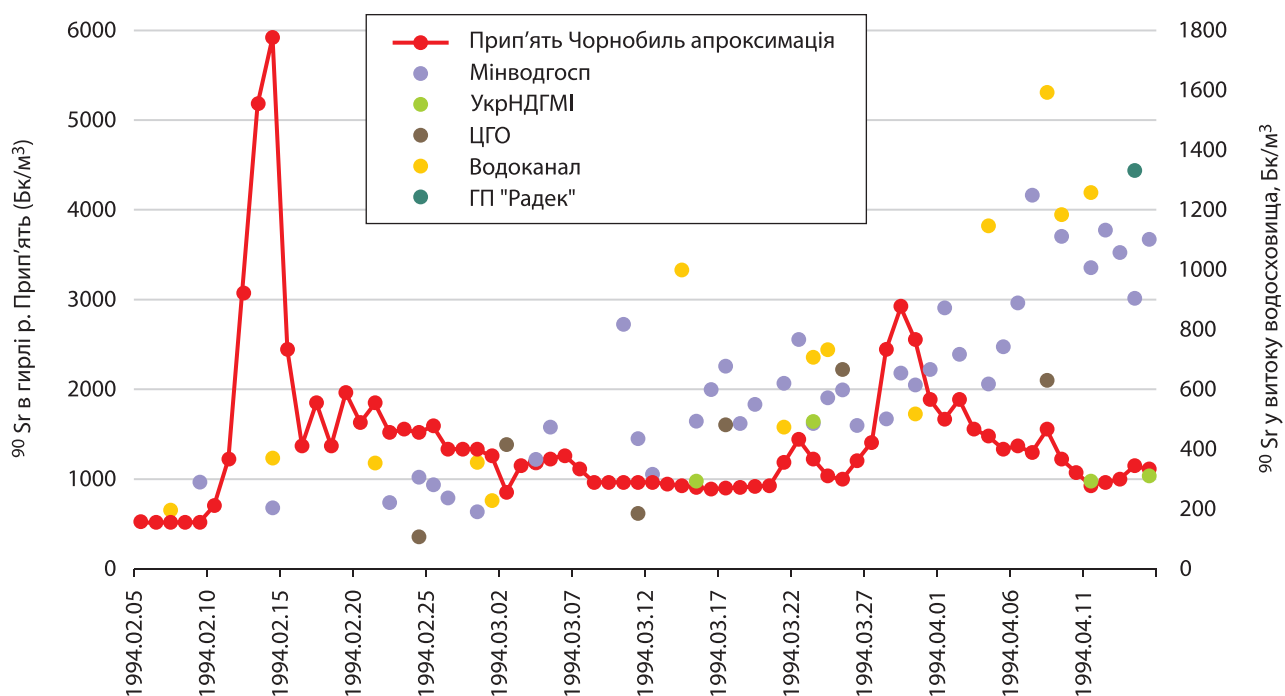


Рис. 1. Співвідношення концентрацій ^{90}Sr у гирлі р. Прип'ять і на витоку з Київського водосховища у 1994 році

Таблиця 1. Залежність об'єму нетранзитних зон від рівня Київського водосховища

Дата закінчення транспортування	Рівень Київського водосховища (середній на інтервалі транспортування) в Балтійській системі висот, м	Об'єм Київського водосховища $V(h)$, км ³	Об'єм нетранзитних зон $V_n(h)$, км ³	Частина нетранзитних зон в загальному об'ємі водосховища $k(h)$
01.04.1999	102,00	2,904378	0,929401	0,320
14.03.1994	102,14	3,011686	0,873389	0,290
08.04.1994	102,18	3,042951	0,864198	0,284
26.02.1991	102,30	3,138365	0,815975	0,260

тов..., 1997), такою невідповідністю можна знехтувати.

Для кожної ситуації проходження по водосховищу різкого підвищення концентрації, за наявних даних про витрати води (P_{ij}) в річках Дніпро, Прип'ять, Уж, Тетерів і рівнях водосховища (h_i), за формулами (6) і (7) розраховуємо витрати води (Q_i) з Київського водосховища на кожен період сталості даних.

За даними радіологічних спостережень визначаємо час транспортування i , відповідно, кількість періодів сталості даних (наприклад, для 1991 р. — 30, для 1994 — 29 і 10, для 1999 — 7 діб).

З вирішення формули (3) отримуємо значення $V_i(h)$. Тут h відповідає середньому рівню водосховища за період транспортування піку забруднення (для 1991 р. — 102,3 м, для 1994 — 102,14 м і 102,18 м, для 1999 — 102,0 м).

В подальшому можна розрахувати $V_n(h)$ і $k(h)$ за формулами (4) і (5). Результати розрахунків зведено в табл. 1 і разом з лінійним трендом відображено на графіку рис. 2.

Слід зазначити, що в усіх чотирьох проаналізованих випадках проходження забруднення зміни рівнів водосховища були незначними: дві ситуації мали місце під час межені з малими коливаннями рівня, а дві інші — пов'язані із дуже великими ви-

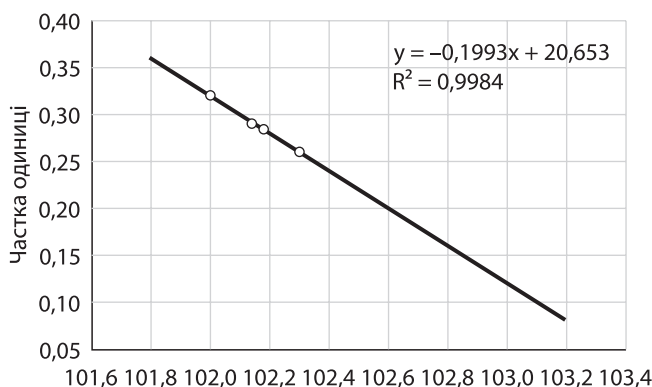


Рис. 2. Залежність частини об'єму нетранзитних зон від рівня Київського водосховища

тратами води у водосховищі, що призвело до малого часу транспортування, коли рівень водосховища не встигав істотно змінитись.

Отримана емпірична залежність частини об'єму нетранзитних зон в загальному об'ємі Київського водосховища від рівня водосховища має вигляд

$$k(h) = -0,1993 \cdot h + 20,653, \quad (8)$$

і яскраво виражений ($R^2=0,9984$) лінійний характер в інтервалі рівнів 102,0–102,3 м дозволяє, у поєднанні з (6), швидко визначити об'єми нетранзитної $V_n(h)=k(h)V(h)$ і транзитної зон ($V_t(h)=(1-k(h))V(h)$). Абсолютне значення об'єму нетранзитної зони Київського водосховища становить близько 30% від повного об'єму водосховища і зменшується із зростанням рівня води.

В роботі (Тимченко, 2010) із застосуванням гідродинамічної математичної моделі отримано значення об'ємів транзитної і нетранзитної зон. При моделюванні використано метод повних потоків, представлений для випадку малих глибин, і штучно виділено транзитні і не транзитні зони, зроблено деякі припущення. Результати отримано лише для одного значення повного об'єму водосховища — для кожного водосховища дніпровського каскаду. Зокрема, для Київського водосховища, при повному об'ємі водосховища 3,34 км³, вказано об'єм нетранзитної зони 0,64 км³. Тобто, нетранзитна зона дорівнює 0,192 від загального об'єму. З іншого боку, враховуючи що 3,34 км³ за формулою (6) відповідає рівню водосховища 102,545 м, що, в свою чергу, у відповідності з отриманою залежністю (8), дає значення частини об'єму 0,216. Розбіжність між результатами, отриманими В.М. Тимченко (2010) (0,192) і нами (0,216) незначна (не перевищує 12,7%) і легко пояснюється різницею у припущеннях в обох дослідженнях, а також недостатньою точністю і неповнотою даних гідрологічних і радіологічних вимірювань.

Таким чином, різними групами із застосуванням абсолютно різних підходів отримано дуже близькі

результати для Київського водосховища принаймні для рівня 102,545 м. Близькість результатів для рівня 102,545 м, що виходить за межі дослідженого інтервалу рівнів 102,0 — 102,3 м, може бути основою для застосування екстраполяції залежності (8) на весь інтервал рівнів водосховища.

Нажаль, дуже мала кількість даних радіологічних вимірювань для інших водосховищ Дніпровського каскаду не дає змоги чітко визначити моменти проходження піків концентрацій забруднення і застосувати запропонований підхід.

ВИСНОВКИ

Для вивчення параметрів водообміну в Київському водосховищі використано надходження з р. Прип'ять та перенесення вздовж водосховища радіоактивного трасера ⁹⁰Sr.

На основі наявних значень концентрації ⁹⁰Sr у гирлі Прип'яті і на витоку з Київського водосховища встановлено час транспортування піків концентрацій трасера для 1991, 1994, 1999 рр. по водосховищу.

Керуючись часом транспортування і даними стосовно витрат води у водосховищі, які розраховано за балансовою моделлю, отримано значення об'ємів транзитних (і відповідно, нетранзитних) зон, а також частин які ці об'єми становлять від повного об'єму водосховища.

Наявна інформація щодо середніх рівнів Київського водосховища, які мали місце під час транспортування піків концентрацій у 1991, 1994, 1999 рр., дозволила встановити залежність між рівнем і частиною об'єму не транзитних зон. Отримана залежність має чітко визначений лінійний характер і демонструє тенденцію зменшення частки об'єму не транзитних зон при зростанні рівня водосховища в інтервалі рівнів 102,0–102,3 м.

Порівняння результатів з такими, що отримані іншими методами демонструє достатню тотожність і дозволяє зробити висновок про можливість екстраполяції отриманих результатів на весь інтервал рівнів водосховища.

Отримана залежність об'ємів транзитної і нетранзитної зон від рівня водосховища може використовуватись при визначенні часу транспортування забруднення вздовж водосховища (Белих, Сизоненко, 2022) для екологічних оцінок і прогнозів, пов'язаних з вивченням умов формування якості водних ресурсів (Тимченко, 2010).

Подяка. Автори користуються приємною можливістю висловити подяку співробітникам УкрГМІ ДСНС України та НАН України, Українського гідрометеорологічного центру, ЦГО ім. Б. Срезневського, а також ДСП "Екоцентр" (м. Чорнобиль) за люб'язно надані результати радіологічних і гідрологічних вимірювань.

ЛІТЕРАТУРА

- Белих Т.В., Сизоненко В.П. (2022). Застосування моделі UNDBE у поєднанні з методом RALG при вирішенні задач радіоекології водних об'єктів. *Кібернетика та комп'ютерна технологія*, **4** (12), 82–92. DOI:10.34229/2707-451X.22.4.0
- Денисова А. И., Тимченко В. М., Нахшина Е. П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев: Наукова Думка, 1989. 216с.
- Лаврик В.И., Никифорович Н.А. (1998). Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях. Киев: Фитосоциоцентр, 287 с.
- Обухов Е.В. Внешний водообмен Днепровского каскада водохранилищ: Монография. Одесса: Полиграф, 2017. 100 с.
- Тимченко В.М. (1990). Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. Киев: Наукова думка, 240 с.
- Тимченко, В. М. (2010). Водообменные процессы как фактор формирования потоков энергии в экосистемах днепровских водохранилищ. *Гидробиологический журнал*, **46** (3).
- Matthew J., Lees L., Camacho A., Chapra S. (2000). On the relationship of transient storage and aggregated dead zone models of longitudinal solute transport in streams. *Water Resources Research*, **36** (1), 213–224.
- Richardson K., Carling P. A., (2006). The hydraulics of a straight bedrock channel: Insights from solute dispersion studies. *Geomorphology*, **82**, 98–125.
- Gonzalez-Pinzon R., Haggerty R., Dentz M. (2013). Scaling and predicting solute transport processes in streams. *Water Resources Research*, **49**, 4071–4088, doi:10.1002/wrcr.20280
- Каганер М.С. (1976). Гидрометеорологический режим озёр и водохранилищ СССР. Каскад днепровских водохранилищ. Ленинград: Гидрометеоиздат, 348 с.
- Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. (1997). Государственный комитет Украины по гидрометеорологии; НАН Украины. Киев, Чернобыльинтеринформ, Т. 1: Мониторинг радиоактивного загрязнения природных вод Украины. 307 с.
- Present and Future Environmental Impact of the Chernobyl Accident. (2001). International atomic energy agency, IAEA-TECDOC-1240, Vienna.
- Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт. (2008). МАГАТЭ: Вена.

REFERENCES

- Bielyh, T., Sizonenko, V. (2022). Application of the UNDBE Model in Combination with the RALG Procedure to Solve the Problem of Radioecology of Water Bodies. *Cybernetics and Computer Technologies*. **4** (12). 82–92. DOI:10.34229/2707-451X.22.4.0 [In Ukrainian].
- Denisova, A.I., Timchenko, V.M., Nakhshina, E.P. et al. (1989).

- Hydrology and hydrochemistry of the Dnieper and its reservoirs. Kiev: Naukova Dumka. [In russian].
3. Gonzalez-Pinzon, R., Haggerty, R., Dentz, M. (2013). Scaling and predicting solute transport processes in streams. *Water Resources Research*, **49**, 4071–4088, doi:10.1002/wrcr.20280
 4. Ecological consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience. (2008). IAEA, Vienna.
 5. Kaganer, M.S. (1976). Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Cascade of the Dnieper water reservoirs. Leningrad: Gidrometeoizdat. [In russian]
 6. Lavryk, V.Y., Nikiforovych, N.A. (1998). Mathematical modeling in hydroecological studies. Kyiv: Phytosociocenter. [In russian].
 7. Matthew, J., Lees, L., Camacho, A., Chapra, S. (2000). On the relationship of transient storage and aggregated dead zone models of longitudinal solute transport in streams. *Water Resources Research*, **36** (1), 213–224.
 8. Obukhov, E.V. (2017). External water exchange of the Dnieper reservoir cascade: Monograph. Odessa: Polygraph. [In russian].
 9. Present and Future Environmental Impact of the Chernobyl Accident. (2001). International atomic energy agency, IAEA-TECDOC-1240, Vienna.
 10. Radiogeology of water bodies in the zone of influence of the Chernobyl NPP accident (1997). State Committee of Ukraine on Hydrometeorology; National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev, Chernobyl interinform, Vol. 1: Monitoring of radioactive contamination of natural waters of Ukraine. [In russian].
 11. Richardson, K., Carling, P. A., (2006). The hydraulics of a straight bedrock channel: Insights from solute dispersion studies. *Geomorphology*, **82**, 98–125.
 12. Timchenko, V. M. (1990). Ecological and hydrological studies of water bodies of the North-Western Black Sea region. Kyiv: Naukova Dumka. [In russian].
 13. Timchenko, V. M. (2010). Water exchange processes as a factor in the formation of energy flows in ecosystems of Dnieper reservoirs. *Hydrobiological Journal*, **46**, 3. [In russian].

Vladimir Sizonenko

ORCID: 0009-0007-2274-5838

jasizyj@yahoo.com

The Institute of Software Systems of the NAS of Ukraine, Kyiv

Oleksii Shevchenko

ORCID: 0000-0002-5791-5354

shevch62@gmail.com

Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ESTIMATION OF THE INTERNAL WATER EXCHANGE VOLUME OF THE KYIV RESERVOIR USING ⁹⁰Sr REMISSION DATA

Given that the hydrodynamics of internal and external water exchange in reservoirs creates fundamentally different living conditions for hydrobionts and significantly affects water quality, the task of separating the volumes of internal and external water exchange arises. The aim of the study is to obtain estimates of the magnitude and variability of internal and external water exchange in the Kyiv reservoir depending on the reservoir level. The research method is full-scale modeling, which consists in observing the dispersion in space of a certain passive conservative admixture (tracer) artificially introduced into the flow. As

a tracer, we propose ⁹⁰Sr, which by its properties almost meets the requirements for a tracer substance. The data of hydrological and toxicological monitoring in 1990–1991, 1993–1994 and 1998–1999 were used. Based on the data on ⁹⁰Sr inputs to the upper reaches of the Kyiv Reservoir in 1991, 1994, and 1999, which had the character of sharp spikes, and the data on ⁹⁰Sr concentrations at the outlet of the Kyiv Reservoir, the values of transport time and volumes corresponding to the time of contamination transport to the outlet of the reservoir were established. Guided by the transportation time and data on water consumption in the reservoir, calculated by the balance model, the values of the volumes of internal and external water exchange, as well as the parts that these volumes makeup of the total volume of the reservoir, were obtained. An interpolation of the dependence of the internal water exchange volume on the level of the Kyiv reservoir was constructed. The results obtained are in good agreement with some results obtained with the hydrodynamic mathematical model using the full-flow method by another group of researchers. The dependence of the volumes of internal and external water exchange of reservoirs on the reservoir level can be used to determine the time of pollution transportation along the reservoir, for environmental assessments and forecasts related to the study of water quality conditions.

Keywords: reservoir, volume of internal water exchange, water level, transportation time, ⁹⁰Sr.

