**УДК 620.92** **DOI 10.33042/2522-1809-2021-6-166-44-49**

**Є.Г. Пономаренко[1], А.А. Немцова[2], Т.В. Дмитренко[1]**

[1]*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна*
[2]*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна*

# ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ ПІД ВПЛИВОМ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

*Завислі речовини є найбільш характерними забруднювачами поверхневого стоку. Їх вміст у водних об'єктах визначається не лише впливом зовнішніх джерел, а й здатністю потоку транспортувати завислі речовини. У роботі представлена математична модель, яка дозволяє оцінити вплив неточкових джерел забруднення на вміст завислих речовин у водотоках. Модель апробовано на одній із малих річок України. Порівняння результатів розрахунків, виконаних по моделі, з натурними даними підтверджує адекватність моделі.*

***Ключові слова:*** *поверхневий стік, завислі речовини, седиментація, математична модель.*

## Постановка проблеми

Поверхневий стік є одним з основних джерел дифузного забруднення водойм. В Україні близько 80% загальної кількості забруднюючих речовин скидаються в водойми з поверхневим стоком. Велика кількість населених пунктів України не мають систем дощової каналізації або ці системи охоплюють лише окремі частини міст. Внаслідок цього в поверхневі води надходять не тільки сільськогосподарські стоки та стоки з природних угідь, а й міський стік. Незадовільний санітарний стан міських територій призводить до високого рівня забруднення поверхневого стоку. Наприклад. середній вміст завислих речовин досягає 1000 г/м$^3$, середній вміст нафтопродуктів 16 г/м$^3$, середній вміст органічних речовин (за БСК$_{20}$) – 150 г0$_2$/м$^3$. В Україні поверхневі води представлені переважно малими річками. У цьому випадку негативна дія поверхневого стоку подвоюється, особливо щодо його антропогенної складової. Характерними ознаками поверхневого стоку є мінливість складу сполук і високий рівень забруднюючих речовин. Характеристики стоку залежать від використання водозбірної території. Наприклад, для сільськогосподарського стоку характерні високий рівень пестицидів, біогенних і органічних речовин і завислих речовин. Міський стік зазвичай додатково містить нафтопродукти. Завислі речовини є найбільш характерними забруднювачами поверхневого стоку. Вони мають великий вплив на якість води та екологічний стан водойм. Цей вплив віддзеркалюється істотним збільшенням споживання розчиненого кисню донними відкладеннями та зміною умов життя мікроорганізмів у воді та донних відкладеннях. При цьому вміст завислих речовин у водних об'єктах визначається не лише їх надходженням із зовнішніх джерел, а й здатністю транспортування наносів потоком. Ця обставина стимулює специфічні вимоги до методів розрахунку вмісту завислих речовин внаслідок надходження поверхневого стоку.

## Аналіз останніх досліджень і публікацій

Поверхневий стік по низці показників більш забруднений, ніж міські стічні води. Із загальної річної кількості домішок, що відводяться до водних об'єктів з міст, на долю поверхневого стоку припадає біля 78% завислих речовин, 20% органічних речовин, 68% нафтопродуктів [1, 2]. При цьому переважну кількість домішок у поверхневому стоці з території міст представляють завислі речовини, доля яких у дощовому стоці сягає 80% від загальної кількості забруднень [3]. У талих водах ця частка ще збільшується. Характерною ознакою завислих речовин у поверхневому стоці є дуже широкий діапазон гідравлічної крупності часток від гравелистих діаметром 60 мм до колоїдних [4, 5].

Здебільшого моделі, що описують перенесення зависів у турбулентному потоці, базуються на тримірному рівнянні турбулентної дифузії або його двомірному спрощенні, яке дозволяє врахувати або просторовий розподіл домішок або розподіл по ширині потоку [6–9]. Використання таких моделей потребує значного обсягу вихідних даних для визначення параметрів моделей і пов'язано із значним обсягом розрахунків. В той же час для нешироких водотоків звичайною і практично достатньою є одномірна інтерпретація процесів.

Більш важливим є урахування динаміки обміну завислими речовинами між водною масою та донними відкладеннями. Динаміка цього процесу

 © Пономаренко Є.Г., Немцова А.А., Дмитренко Т.В.

залежить від здатності потоку до переносу зависів, яка в свою чергу залежить від низки факторів [10].

В даний час методи оцінки впливу поверхневого стоку не передбачають врахування впливу цієї особливості умов формування вмісту завислих речовин на їх вміст у водному об'єкті.

**Метою даної роботи** є розробка математичної моделі, яка дозволяє оцінити вплив неточкових джерел забруднення на вміст завислих речовин у нешироких водотоках.

## Виклад основного матеріалу

### Побудова математичної моделі

Математична модель заснована на принципі збереження маси. Розглянуто одновимірну постановку задачі. Такий підхід зазвичай використовується для відносно нешироких водотоків, тобто для таких, у яких ширина потоку значно не перевищує глибину. Розглянемо в якості елементарного об'єму ділянку водотоку довжиною L (рис. 1).

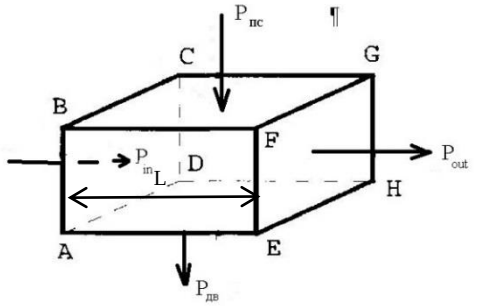


Рис. 1. Баланс мас у елементарному об'ємі водотоку

Баланс мас завислих речовин у елементарному об'ємі можна записати у вигляді:

$$P_{in} + P_{пс} - P_{out} - P_{дв} = 0, \quad (1)$$

де:

$P_{in}$ – маса завислих речовин, що надходять в елементарний об'єм через ліву бокову грань ABCD за секунду, г/с;

$P_{пс}$ – маса завислих речовин, що надходять в елементарний об'єм через верхню грань BCGF зі стоком за секунду, г/с;

$P_{out}$ – маса завислих речовин, що виходить через праву бокову грань EFGH за секунду, г/с;

$P_{дв}$ – результуюча маса завислих речовин, що проходять через нижню грань ADHE за секунду, г/с.

$P_{дв}$ визначається як результуюча двох потоків: Вона може бути як додатною, так і від'ємною.

$$P_{дв} = P_{ос} - P_{ск}, \quad (2)$$

де:

$P_{ос}$ – маса завислих речовин, що осідають через нижню грань ADHE за секунду, г/с.

$P_{ск}$ – маса завислих речовин, що надходять в елементарний об'єм через грань ADHE в результаті процесу переосадження (скаламучування) за секунду, г/с.

Гідравлічні характеристики потоку для елементарного об'єму вважаються постійними.

Розглянемо кожний член співвідношення (1).

$$P_{in} = Q \cdot C, \quad (3)$$

де:

Q – витрата потоку, м$^3$/с;

C – середня величина вмісту завислих речовин на лівій боковій грані, г/м$^3$.

$$P_{пс} = f \cdot L, \quad (4)$$

де:

f – питоме (на одиницю довжини водотоку) надходження маси завислих речовин у водний об'єкт за секунду, г/(м-с);

L – довжина ділянки водотоку, на яку надходить поверхневий стік, м.

$$f = q_{пс} \cdot C_{пс}, \quad (5)$$

де:

$q_{пс}$ – питома (на одиницю довжини водотоку) витрата поверхневого стоку, м$^3$/с;

$C_{пс}$ – вміст завислих речовин у поверхневому стоці, г/м$^3$.

$$P_{out} = Q \cdot (C + \Delta C), \quad (6)$$

де ΔC – зміна середнього вмісту завислих речовин вздовж ділянки водотоку, г/м$^3$.

Величина ΔC може бути як додатною, так і від'ємною.

$$P_{пс} = q_s \cdot B \cdot L, \quad (7)$$

де:

$q_s$ – потік завислих речовин у вертикальному напрямку через нижню грань об'єму за секунду, г/(м$^2$·с);

B – ширина потоку, м.

Потік завислих речовин у вертикальному напрямку $q_s$ визначається як різниця двох потоків – потоку осадження і потоку скаламучування:

$$q_s = q_{ос} - q_{ск} \quad (8)$$

де:

$q_{ос}$ – потік часток, що осаджуються, г/(м$^2$·с);

$q_{ск}$ – потік часток, що скаламучуються, г/(м$^2$·с).

Знак мінус у формулі (8) визначає різноспрямованість цих двох потоків зависів у вертикальному напрямку.

$$q_{ос} = u \cdot C \tag{9}$$

де:

u – швидкість осадження, м/с.

Формулу для потоку часток, що скаламучуються, записуємо на основі припущення, що інтенсивність цього потоку пропорційна різниці між концентрацією скаламучення і концентрацією завислих речовин. Під концентрацією скаламучування розуміють концентрацію завислих речовин відповідної фракції, що підіймаються до потоку з донних відкладень внаслідок скаламучування.

$$q_{ск} = k \cdot (C_{ск} - C), \tag{10}$$

де:

к – коефіцієнт пропорціональності, м/с;

$C_{ск}$ – концентрація скаламучування, г/м$^3$.

Значення концентрації скаламучування можна визначити за емпіричною формулою Караушева [11]:

$$C_{ск} = 150 \cdot N \cdot \eta^2 \cdot \frac{v^2}{h}, \tag{11}$$

де:

v – швидкість потоку, м/с;

h – глибина потоку, м;

N та η – безрозмірні параметри.

$$N = \frac{M \cdot Sh}{g}; \eta = 1 - \frac{M}{3 \cdot Sh};$$
$$M = 0,7 \cdot Sh + 6 \text{ при } Sh \le 60; \tag{12}$$
$$M = 48 \text{ при } Sh > 60.$$

де:

Sh – коефіцієнт Шезі, м$^{1/2}$/с;

g – прискорення сили тяжіння, м/с$^2$;

M – безрозмірний коефіцієнт.

Величина коефіцієнту пропорційності ***к*** в формулі (10) знаходиться як:

$$u = \frac{\Gamma}{1 - \Gamma}, \tag{13}$$

де:

Г – безрозмірний гідромеханічний параметр осадів.

Значення цього параметра залежить від значення коефіцієнта Шезі Sh і безрозмірного параметра G = u/v. Значення гідромеханічного параметра Г наведено в табл. 1.

Підставляючи співвідношення (3-7) та (9-10) в (1) та приймаючи довжину ділянки нескінченно малою L→∞, отримаємо рівняння:

$$Q \cdot dC = (f - (u \cdot C - k \cdot (C_{ск} - C)) \cdot B) \cdot dL. \tag{14}$$

Приймаючи до уваги співвідношення (13), рішення рівняння (14) може бути записано у вигляді:

$$C = C_{тр} + \frac{f}{B \cdot (u + k)} + \left(C_0 - C_{тр} - \frac{f}{B \cdot (u + k)}\right) \exp\left(-\frac{B \cdot (u + k)}{Q} \cdot L\right), \tag{15}$$

де:

$C_0$ – вміст завислих речовин на лівому боці секції водотоку, г/м$^3$;

$C_{тр}$ – вміст завислих речовин, що відповідає транспортуючій спроможності водотоку по зависях, г/м$^3$.

Таблиця 1

Гідромеханічний параметр Г

| G | Sh | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 0,0001 | 0,998 | 0,995 | 0,96 | 0,986 | 0,98 |
| 0,001 | 0,96 | 0,934 | 0,9 | 0,86 | 0,816 |
| 0,002 | 0,927 | 0,874 | 0,812 | 0,742 | 0,669 |
| 0,005 | 0,827 | 0,716 | 0,601 | 0,484 | 0,387 |
| 0,01 | 0,687 | 0,52 | 0,373 | 0,259 | 0,177 |
| 0,02 | 0,479 | 0,29 | 0,169 | 0,099 | 0,066 |
| 0,03 | 0,337 | 0,168 | 0,084 | 0,044 | 0,026 |
| 0,04 | 0,254 | 0,11 | 0,052 | 0,026 | 0,015 |
| 0,06 | 0,041 | 0,049 | 0,0188 | 0,0089 | 0,0045 |
| 0,08 | 0,079 | 0,0231 | 0,0084 | 0,0033 | 0,0015 |
| 0,1 | 0,044 | 0,0123 | 0,0038 | 0,00143 | 0,0005 |

$$C_{тр} = \Gamma \cdot C_{ск}. \tag{16}$$

Отримані залежності справедливі для нормальних потоків, тобто таких, у яких вміст завислих речовин наближений до концентрації скаламучування $C_{ск}$.

Для потоку, перевантаженого наносами ($C_o$>$C_{ск}$), характерне лише інтенсивне гравітаційне осідання завислих речовин. У цьому випадку рух зависів у вертикальному напрямку описується співвідношенням (9). Тоді балансове рівняння (14) скорочується до вигляду:

$$Q \cdot dC = -u \cdot B \cdot C + f. \tag{17}$$

Рішення рівняння (17) має вигляд:

$$C = \left(C - \frac{f}{u \cdot B}\right) \cdot \exp\left(-\frac{u \cdot B}{Q} \cdot L\right) + \frac{f}{u \cdot B}. \quad (18)$$

Співвідношення (15) та (18) отримано за умови, що всі завислі речовини мають однакову гідравлічну крупність. В умовах реального потоку можна використовувати середнє значення гідравлічної крупності зависів, або скористатися принципом суперпозиції.

**Апробація моделі**

Розроблену математичну модель використано для оцінки вмісту завислих речовин у р. Лопань, що протікає через місто Харків. Ширина потоку коливається в діапазоні 1–20 м, глибина в діапазоні 0,3–1 м, що дає підґрунтя віднести річку до нешироких. Частина поверхневого стоку, не зібраного системою зливової каналізації, скидається в річку. Скид з міських очисних споруд розташований на відстані 3 км вище за течією гирла річки. Річка Лопань відноситься до малих річок. Середня багаторічна витрата Q = 2,4 м$^3$/с, швидкість потоку v = 0,13 м/с, глибина потоку h = 1 м. Стічні води, що потрапляють у водотік, призводять до збільшення вмісту завислих речовин за течією. Середня концентрація завислих речовин 30 г/м$^3$. Середній витрата поверхневого стоку 0,43 м$^3$/с. Вміст завислих речовин у стоці з міської території становить близько 1000 г/м$^3$. Гранулометричний склад завислих речовин неоднорідний. Вони представлені переважно тонкодисперсними компонентами. Близько 80 % завислих речовин мають розмір не більше 0,05 мм, у тому числі близько 15 % відкладень діаметром менше 0,005 мм. На основі довготривалих спостережень можна вибрати вісім найбільш репрезентативних фракцій. Характеристика гранулометричного складу завислих речовин наведена в табл. 2.

Основні гідромеханічні характеристики потоку для кожної фракції – концентрація скаламучування $C_{ск}$ та концентрація, що відповідає здатності потоку по транспортуванню наносів $C_{тр}$ – розраховувалися за співвідношеннями (11) і (16) відповідно. Результати розрахунку представлені в табл. 3.

Таблиця 2

Гранулометричний склад завислих речовин

| Діаметр фракції, м | $1\cdot10^{-3}$ | $5\cdot10^{-4}$ | $2\cdot10^{-4}$ | $1\cdot10^{-4}$ | $5\cdot10^{-5}$ | $1\cdot10^{-5}$ | $5\cdot10^{-6}$ | $1\cdot10^{-6}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Гідравлічна крупність, м/с | $1\cdot10^{-1}$ | $6\cdot10^{-2}$ | $2\cdot10^{-2}$ | $8\cdot10^{-3}$ | $2\cdot10^{-3}$ | $8\cdot10^{-5}$ | $3\cdot10^{-5}$ | $8\cdot10^{-7}$ |
| Частка фракції, % | | | | | | | | |
| у водотоці | 25,3 | 15,8 | 28,9 | 10,2 | 4,6 | 4,2 | 5,0 | 6,0 |
| у пов. стоці | 0 | 5 | 5 | 10 | 25 | 40 | 7 | 8 |

Таблиця 3

Гідромеханічні характеристики потоку за фракціями

| Діаметр, м | $1\cdot10^{-3}$ | $5\cdot10^{-4}$ | $2\cdot10^{-4}$ | $1\cdot10^{-4}$ | $5\cdot10^{-5}$ | $1\cdot10^{-5}$ | $5\cdot10^{-6}$ | $1\cdot10^{-6}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{ск}$, г/м$^3$ | 11,62 | 7,26 | 13,28 | 4,69 | 2,11 | 1,93 | 2,30 | 2,76 |
| $C_{тр}$, г/м$^3$ | 1,2·10-4 | 1,4·10-4 | 0,22 | 0,66 | 1,01 | 2,09 | 2,1 | 2,89 |

Розрахунки концентрації завислих речовин за співвідношеннями (15) і (18) проводилися для кожної з восьми фракцій окремо. Вони показали, що процеси седиментації та скаламучування мають значний вплив на вміст завислих речовин. Процес седиментації переважає для фракцій з діаметром частинок від 0,05 мм до 1 мм. Процеси скаламучування є більш типовими для добре диспергованих завислих часток з діаметрами від 0,001 мм до 0,005 мм. Процес стабілізується на відстані близько 200 м від початкової точки. Результати розрахунків для деяких фракцій наведені на рис. 2.

Загальний вміст завислих речовин, розрахований за принципом суперпозиції, показує, що надходження поверхневого стоку призводить до збільшення вмісту завислих речовин на 10,8% порівняно з транспортуючою здатністю потоку. Порівняння результатів розрахунку з натурними даними за п’ять років підтвердило адекватність моделі (рис. 3).

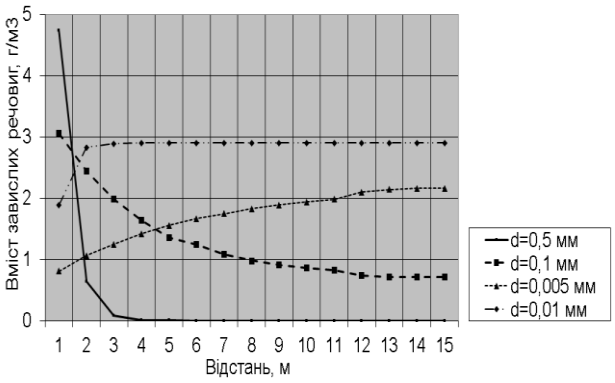


Рис. 2. Зміна вмісту завислих речовин по довжині потоку для різних фракцій; d – розмір фракції, мм

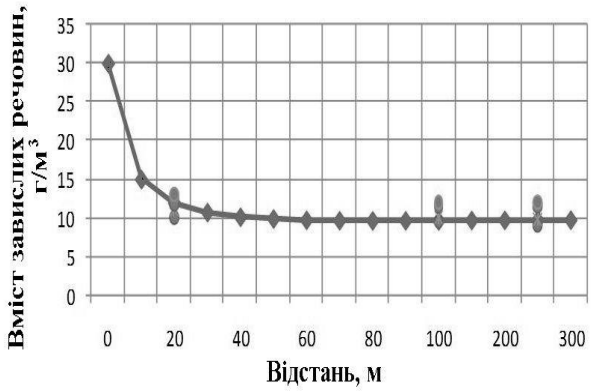


Рис. 3. Порівняння розрахункових і натурних даних

## Висновки

Розроблено математичну модель для розрахунку вмісту завислих речовин в нешироких водотоках внаслідок надходження поверхневого стоку. Модель враховує надходження завислих речовин з дифузних джерел, процеси седиментації та скаламучування у водному потоці. Модель заснована на принципі балансу маси для потокової секції. Отримано аналітичні рішення рівнянь моделі для нормального і перенасиченого потоку. Модель використана для оцінки впливу стоку з міської території м. Харкова на р. Лопань. Порівняння розрахункових даних з натурними підтвердило адекватність моделі.

### Література


1. *Афонин В.В. Отвод и очистка поверхностного стока с городских и рекреационных территорий / В.В. Афонин, Ю.В. Бондаренко, В.С. Белов. – Саратов : Издательский центр «Наука», 2007 – 156 с.*
2. *Діренко Г.О. Визначення нормативних якісних і кількісних характеристик поверхневого стоку при проектуванні очисних споруд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://potential4.com.ua/ua/statti/viznachennya-normativnih-yakisnih-i-kilkisnih-harakteristik-1.html*
3. *Ciupa T. Impact of the City on the Rapid Increase in the Runoff and Transport of Suspended and Dissolved Solids During Rainfall – The Example of the Silnica River (Kielce, Poland) / T. Ciupa, R. Suligowski // Water. – 2020. – 12 (10). – 2693. DOI: https://doi.org/10.3390/w12102693*
4. *Water quality monitoring : a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs / edited by Jamie Bartram and Richard Ballance. E & FN Spon – World Health Organization & United Nations Environment Programme, 1996. – 383 p.*
5. *Aberdeen Western Peripheral Route Environmental Statement Appendices 2007 Part C: Southern Leg Appendix A24.6 – Sediment Modelling [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.transport.gov.scot/media/36530/a246-sediment-modelling.pdf*
6. *Наумов В.А. Математическое моделирование распространения взвешенных примесей от точечного источника и их осаждения в водотоке / В.А. Наумов // Известия КГТУ. – 2017. – № 44. – С. 46–58.*
7. *Григорян С.С. Об эволюции попавшей в реку массы консервативного загрязнения при ее движении по течению / С.С. Григорян // Прикладная математика и механика. – 2009. – Т. 73. – № 6. – С. 1036–1046.*
8. *Великанов Н.Л. Расчет распространения загрязнения в реке Товарная / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, М.Н. Великанова // Вода: химия и экология. – 2011. – № 8. – С. 89–94.*
9. *Chen Xiaohong. Modeling transportation of suspended solids in Zhujiang River estuary, South China / Chen Xiaohong, ChenYongqin, Lai Guoyou // Chinese Journal of Oceanology and Limnology. – 2005. – 23(1). – P. 1–10.*
10. *Великанов Н.Л. Осаждение частиц взвесей в воде / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, Л.В. Примак // Механизация строительства. – 2013. – № 7. – С. 44–48.*
11. *Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов / А.В. Караушев. – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 271 с.*


### References


1. Afonin, V.V., Bondarenko, Yu.V., Belov, V.S. (2007). *Diversion and treatment of surface runoff from urban and recreational areas*. Saratov Publishing Center "Science". [in Russian]
2. Direnko, G.O. *Determination of normative qualitative and quantitative characteristics of surface runoff in the design of treatment facilities.* URL: https://potential4.com.ua/ua/statti/viznachennya-normativnih-yakisnih-i-kilkisnih-harakteristik-1.html [in Ukrainian]
3. Ciupa, T., Suligowski, R. (2020). Impact of the City on the Rapid Increase in the Runoff and Transport of Suspended and Dissolved Solids During Rainfall – The Example of the Silnica River (Kielce, Poland). *Water*, 12(10), 2693. DOI: https://doi.org/10.3390/w12102693
4. Bartram, J., & Balance, R. (Eds.). (1996). *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programs*. World Health Organization & United Nations Environment Programme.
5. Transport Scotland. (2017). *Aberdeen Western Peripheral Route. Environmental Statement Appendices 2007. Part C: Southern Leg Appendix A24.6 – Sediment Modelling.* URL: https://www.transport.gov.scot/media/36530/a246-sediment-modelling.pdf
6. Naumov, V.A. (2017). Mathematical modeling of the diffusion of suspended solids from a point source and their sedimentation in a watercourse. *Izvestiya KSTU*, (44), 46–58. [in Russian]
7. Grigoryan, S.S. (2009). About the evolution of a mass of conservative pollution that got into the river during its movement along the stream. *Applied mathematics and mechanics*, 73( 6), 1036–1046. [in Russian].
8. Velikanov, N.L., Naumov, V.A., Velikanova, M.N. (2011). Calculation of the diffusion of pollution in the Tovarnaya river. *Water: chemistry and ecology*, (8), 89–94. [in Russian]
9. Chen, Xiaohong, Chen, Yongqin, Lai, Guoyou. (2005). Modeling transportation of suspended solids in Zhujiang River estuary, South China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 23(1), 1–10.
10. Velikanov, N.L., Naumov, V.A., Primak, L.V. (2013). Sedimentation of suspended solids in water. *Mechanization in construction*, (7), 44–48. [in Russian]
11. Karaushev, A.V. (1977). *Theory and methods of calculation of river sediments*. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.П. Полив'янчук, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ПОНОМАРЕНКО Євгеній Георгійович
*кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст*
*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*
*E-mail – anep99@ukr.net*
*ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7731-3919*

**Автор:** НЕМЦОВА Алла Абрамівна
*кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичних методів в економіці*
*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*
*E-mail – anemtsova_2017@ukr.net*
*ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8696-1085*

**Автор:** ДМИТРЕНКО Тетяна Володимирівна
*кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст*
*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*
*E-mail – Tetyana.Dmytrenko@kname.edu.ua*
*ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0447-644X*

## WATER QUALITY FORECASTING UNDER THE INFLUENCE OF RUNOFF BASED ON A MATHEMATICAL MODEL

I. Ponomarenko[1], A. Nemtsova[2], T. Dmytrenko[1]
[1]O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine
[2]V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

*Runoff is one of the main sources of diffuse pollution of surface water. Suspended solids are the most typical contaminants of runoff. Suspended solids have a great influence on water quality and ecological status of water bodies. The content of suspended solids in water bodies is determined not only by their receipt from external sources, but also by the ability to transport sediments by flow. There is a permanent exchange of suspended solids between water bodies and bottom deposits. This fact stimulates specific requirements for modeling the transfer of suspended solids. For the most cases, models which describe the transfer of suspensions in a turbulent flow are based on the three-dimensional equation of turbulent diffusion or its two-dimensional simplification, which allows to take into account the spatial distribution of substances or it's distribution to the width of stream. The use of such models requires a significant amount of initial data to determine the parameters of the models and is associated with a significant amount of calculations. At the same time, one-dimensional interpretation of processes is common and practically sufficient for shallow watercourses. It is more important to take into account the dynamics of the exchange of suspended solids between water mass and bottom deposits. The article is devoted to the development of a mathematical model for estimating the influence of non - point sources of pollution on the content of suspended solids in narrow watercourses. The model is based on the principle of mass balance of substances entering the flow section and takes into account the processes of sedimentation and resedimentation of suspended solids. A mathematical model in the form of a differential equation for the case of normal and overloaded flow is developed. Analytical solutions of equations for both cases are obtained. The influence of hydraulic size of the suspension on the content of suspended solids in watercourses and its distribution along the flow length is analyzed. The developed model was used for estimation of the impact of runoff from the urban area of Kharkiv city (Ukraine) on the river Lopan. The model demonstrated satisfactory compliance with field data.*

***Keywords:*** *runoff, suspended solids, sedimentation, mathematical model.*