

## ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ БІОСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД В РАЙОНІ НОВОЇ УМАНІ (Р. УМАНКА)

**Світлана Совгіра**

доктор педагогічних наук, професор кафедри хімії та екології,  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
ORCID: 0000-0002-8742-7773  
E-mail: sovgirasvitlana@gmail.com

*У статті за результатами теоретичного та експериментального дослідження обґрунтовано доцільність та умови застосування біосорбційного методу для очищення поверхневих стічних вод, що характеризуються значною забрудненістю органічними речовинами та сполуками азоту. Встановлено, що для очищення поверхневого стоку від органічних забруднень і сполук азоту доцільно застосовувати біологічні методи. Розкрито, що найбільш ефективно реалізовувати біологічне очищення поверхневого стоку в біологічних реакторах на носіях, що володіють сорбційною активністю по відношенню до забруднень, що видаляються і не потребують регенерації.*

*За результатами дослідження з поверхневим стоком з території автошляху Київ-Одеса в районі Нової Умані (р. Уманка) підтверджено ефективність біосорбційного методу для глибокого очищення поверхневого стоку від розчинених органічних речовин, сполук азоту забруднень (нафтопродуктів, формальдегіду, етиленгліколю тощо) до нормативів ГДК рибогосподарської водойми.*

**Ключові слова:** технологічна оцінка; застосування; біосорбційна технологія; очищення; поверхневі стічні води; міська річка; концентрація; мінеральні та органічні домішки; речовини техногенного походження; бактеріальне забруднення.

## ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF THE BIOSORPTION METHOD OF SURFACE WASTEWATER TREATMENT IN THE REGION OF NOVA UMAN (RIVER UMANKA)

**Svitlana Sovhira**

doctor of pedagogical sciences, professor at the department of chemistry and ecology, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university  
ORCID: 0000-0002-8742-7773  
E-mail: sovgirasvitlana@gmail.com

*The article, based on the results of theoretical and experimental research, substantiates the expediency and conditions of using the biosorption method for the treatment of surface wastewater characterized by significant contamination with organic substances and nitrogen compounds. It has been established that it is advisable to use biological methods to clean surface runoff from organic pollution and nitrogen compounds. It was revealed that it is most effective to implement biological treatment of surface runoff in biological reactors on carriers that have sorption activity in relation to pollutants that are removed and do not require regeneration.*

*It is proposed to operate the biosorber in different modes, which differ in the residence time of water in the reactor and the concentration of pollutants in the effluent: mode 1 (with preliminary coagulation) - the residence time of water in the active zone of the biosorber is 88 minutes, mode 2 (with preliminary coagulation) - the residence time of water in the active zone of the biosorber 40 minutes, mode 3 (without coagulation) – the average residence time of water in the active zone of the biosorber is 12 minutes, mode 4 (without coagulation with the addition of ethylene glycol and ammonium nitrogen) – the average residence time of water in the active zone of the biosorber is 12 minutes.*

*Obtained data on the purification of runoff from organic substances, assessed by chemical oxygen consumption and biological oxygen consumption, petroleum products, ammonium nitrate in a wide range of their concentrations in source water as a result of research on real surface runoff from the territory of highways of the settlement, which lasted for 3 months.*

*The effectiveness of the biosorption method for deep cleaning of surface runoff from dissolved organic substances, nitrogen compounds and pollutants (petroleum products, ethylene glycol, etc.) up to the standards of the maximum permissible concentration of a fishery reservoir was confirmed according to the results of a study with surface runoff from the territory of the Kyiv-Odesa highway in the area of Nova Uman (Umanka river).*

**Keywords:** technological assessment; application; biosorption technology; purification; surface wastewater; urban river; concentration; mineral and organic impurities; man-made substances; bacterial pollution.

Більше половини жителів землі проживає у містах, і з кожним роком відсоток міського людства дедалі збільшується. Екологічне благополуччя мегаполісів багато в чому залежить від стану міської річки або водойми, що приймає стічні води. У міських річках найбільш поширеними забруднювачами є важкі метали, токсичні органічні речовини, нітритні та амонійні солі азоту. Зростає роль дифузного забруднення річок від донних відкладень та з поверхневих вод з навколишніх територій.

Прикладом міського водотоку є річка Уманка, що відчуває на собі різноманіття антропогенних впливів: різноманітність стоків, зміну гідрологічного і температурного режиму, значну частку (понад 55%) побутових біологічно очищених стоків. Тому актуальність дослідження обумовлена:

у теоретичному аспекті – оцінкою ролі окремих чинників антропогенного впливу та потенційних можливостей самоочищення міської річки, виявленням залежностей характеру самоочищення від різних чинників навантаження;

у прикладному – тією обставиною, що виявлені закономірності можуть слугувати для інженерних рішень щодо регулювання якості водного середовища міста, а також для підвищення інформативності моніторингу річки та прогнозування її екологічного стану.

Скидання поверхневих стоків промислових підприємств і селитебних зон є характерним чинником, що спричинив серйозне забруднення водойм. Самоочисна здатність водойм у більшості випадків не забезпечує їх відновлення. Це призводить до збільшення у вододжерелі вмісту органічних речовин і біогенних елементів (сполуки азоту та фосфору), що зрештою зумовлює погіршення загальної екологічної ситуації в країні. Негативний вплив поверхневого стоку особливо сильно проявляється на невеликих водотоках та водоймищах, розташованих у великих містах та промислових центрах, оскільки до 50% від загальної кількості забруднюючих речовин, що надходять у водоймища, вноситься з поверхневим стоком.

Поверхневі стічні води характеризуються значними концентраціями нафтопродуктів до 100 мг/л, органічних забруднень за БСК – до 300 мг/л, ХСК – до 500 мг/л; вміст біогенних елементів становить до 70 мг/л за амонійним азотом.

Для очищення поверхневого стоку застосовуються в основному фізико-хімічні методи очищення, проте вони недостатньо ефективні для видалення розчинених органічних речовин та сполук азоту.

Для видалення з поверхневих стічних вод органічних забруднень та сполук азоту в технологічній схемі їхнього очищення нерідко застосовують біологічні споруди. Однак, різкі коливання витрати і складу поверхневого стоку, а також низькі температури протягом тривалого часу, не дозволяють широко застосовувати традиційні біологічні методи.

У той же час очищення поверхневого стоку біологічним методом має науковий і практичний інтерес, оскільки має ряд переваг, і є деструктивним методом і практично не вимагає застосування дорогих витратних матеріалів.

Відтак, актуальність дослідження викликана необхідністю розвитку технологій та ефективних споруд для очищення поверхневих стічних вод від органічних речовин та сполук азоту біологічним методом, а також створення методики розрахунку споруд біологічного очищення, що враховує якісні та кількісні характеристики поверхневого стоку.

Дослідженням процесів очистки стічних вод, методів оцінки якісного стану донних відкладів водних об'єктів та техногенного впливу підприємств на стан водойм, біоіндикації стану гідроекосистем за морфологічними характеристиками, використанню природних та абсорбтивних субстанцій для очищення природних та стічних вод присвячені доробки

науковців Т. Айрапетяна [1], Д. Верниченко-Цветкова [2], М. Клименко [5], С. Матіюк [10], О. Винарчук [3], М. Забокрицької [4], О. Кляченко [6], О. Семінської [11], П. Хоружого [12].

Основними забруднюючими компонентами поверхневого стоку, що формується на селитебних територіях міст, є продукти ерозії ґрунту, що змиваються з газонів і відкритих ґрунтових поверхонь, пил, побутове сміття, компоненти дорожніх покриттів, що вимиваються, і будівельних матеріалів, що зберігаються на відкритих майданчиках, а також різні нафтопродукти, що потрапляють на поверхню водозбору внаслідок несправностей автотранспорту та іншої техніки. Специфічні забруднюючі компоненти виносяться поверхневим стоком з територій промзон або потрапляють до них з приземної атмосфери [8, с.104].

Усі забруднюючі речовини, наявні у поверхневому стоку населених територій, у дослідженні З. Малецького класифіковані, як:

- мінеральні та органічні домішки природного походження, що утворюються в результаті адсорбції газів з атмосфери та ерозії ґрунту: грубодисперсні домішки (частки піску, глини, гумусу тощо), а також розчинені органічні та мінеральні речовини;
- речовини техногенного походження в різному фазово-дисперсному стані: нафтопродукти, компоненти дорожніх покриттів, що вимиваються, сполуки важких металів, СПАР тощо, перелік яких залежить від профілю місцевої промисловості;
- бактеріальне забруднення, що надходять у водостік при поганому санітарно-технічному стані території та каналізаційних мереж [9, с.14].

Для великих міст із населенням понад 1 млн. жителів надходження забруднюючих речовин із поверхневим стоком у водоприймачі зі своїх територій становить близько 50% загального забруднення [7, с.21].

За розрахунками фахівців, із загальної кількості забруднюючих речовин, що містяться у всіх видах стічних вод, що відводяться з території міста, на частку поверхневого стоку припадає: біля 78% зважених речовин, 20% органічних речовин (за БСК) та 68% нафтопродуктів (О. Винарчук [3], М. Забокрицька [4], О. Кляченко [6]).

Талі води зазвичай містять у 1,5–2 рази більше завислих речовин, ніж дощові. Леткі домішки дощового, талого та мийного стоків становлять біля 30% загальної маси завислих речовин. У талому стоку з території міста міститься значна кількість хлоридів. Практично всі види стоків містять значну кількість органічних речовин, відрізняються високою окислювальністю та вмістом нафтопродуктів. У таблиці 1 наведено орієнтовні середньорічні концентрації забруднень у дощових та талих стоках, інфільтраційних водах.

Органічні речовини в поверхневому стокові містяться в розчиненому та нерозчиненому стані.

Таблиця 1

**Орієнтовні середньорічні концентрації забруднень (мг/л) в поверхневому стокові**

Показники забруднення	Дощові води	Талі води	Інфільтраційні води
Завислі речовини	300–600	600–1200	30–50
ХСК	90–120	150–200	40–60
БСК <sub>2</sub>	40–80	70–150	25–40
БСК <sub>5</sub>	20–30	40–60	8–12
Азот амонійний (N)	8–10	18–20	5–7
Фосфати (P)	0,5–0,8	1,2–1,8	0,4–0,5
Нафтопродукти	7–12	10–15	2–4

Дані за Т. Айрапетян [1]

На частку суспензованих домішок припадає близько 90% загальної кількості речовин, що біологічно окислюються, наявних у поверхневому стокові.

Аналіз наукових джерел показав, що дослідниками опрацьовані значні масиви питань, стосовно проблеми очищення міських стічних вод. Проте маловивченим залишається аспект застосування біосорбційної технології очищення поверхневих стічних вод.

Мета статті: здійснити оцінку застосування біосорбційної технології очищення поверхневих стічних вод (на прикладі р. Уманка).

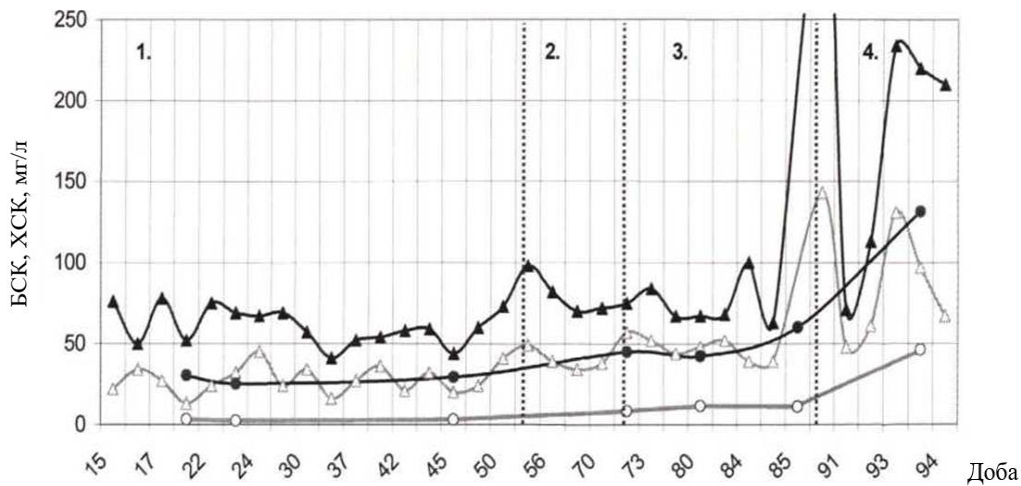
Експериментальні дослідження з очищення поверхневого стоку з території автошляху Київ-Одеса у районі Нової Умані (р. Уманка) проводилися протягом 95 діб на основі застосування активованого вугілля. Дослідження здійснювалося при температурі 18–20°C. Методика кількісного визначення вмісту нафтопродуктів у воді ґрунтується на екстрагуванні нафтопродуктів органічними розчинниками з подальшим вимірюванням оптичної густини розчину. Оптичні густини стандартних розчинів вимірювалися на фотоелектроколориметрі згідно інструкції з експлуатації приладу. Після заміру оптичної густини всіх розчинів будувався градувальний графік, відкладаючи по осі абсцис відомі концентрації нафти, а по осі ординат – відповідні їм значення оптичної густини. За одержаним значенням оптичної густини визначалася концентрація нафти, користуючись градульованим графіком. Для визначення ХСК застосовано дихроматний метод, в якому окислення органічних речовин проводиться сумішшю  $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$  в присутності каталізатора  $Ag_2SO_4$  при кип'ятінні.

Поверхневий стік з території автошляху характеризується наявністю в стоку органічних забруднень за ХСК від 60 до 170 мг/л (при середній концентрації 97 мг/л), за БСК – від 34 до 100 мг/л (при середній концентрації 60 мг/л). Співвідношення БСК/ХСК вхідної води становить 0,55 мг/л. У стоку присутні нафтопродукти в концентраціях від 1 до 50 мг/л та етиленгліколь. Для зниження концентрації нафтопродуктів перед подачею на біосорбери стік піддавався коагуляції. Як коагулянт використовувався Аква-Аурат в дозах за  $Al_2O_3$  40–100 мг/л. Мало місце зниження органічних забруднень ХСК у середньому до 66 мг/л і нафтопродуктів до 2,6 мг/л. Концентрація азоту амонійного у стоку після коагуляції в середньому становила 5,1 мг/л, концентрація азоту нітритів не перевищувала 0,5 мг/л; азоту нітратів – 4,3 мг/л; рН води – 7,7.

У процесі досліджень біосорбер працював у різних режимах, що відрізняються часом перебування води в реакторі та концентрацією забруднень у стоку:

1. режим (з попередньою коагуляцією) – час перебування води в активній зоні біосорбера 88 хвилин, концентрація органічних забруднень за ХСК до 80 мг/л (в середньому 61,4 мг/л);
2. режим (з попередньою коагуляцією) – час перебування води в активній зоні біосорбера 40 хвилин, концентрація органічних забруднень за ХСК до 100 мг/л (в середньому 69,8 мг/л);
3. режим (без коагуляції) – середній час перебування води в активній зоні біосорбера 12 хвилин, концентрація органічних забруднень за ХСК до 100 мг/л (в середньому 74,9 мг/л);
4. режим (без коагуляції з додаванням етиленгліколю та амонійного азоту) – середній час перебування води в активній зоні біосорбера 12 хвилин, концентрація органічних забруднень за ХСК до 340 мг/л (в середньому 198,2 мг/л).

Динаміка зміни концентрації органічних забруднень у процесі очищення на біосорбері подана на рисунку 1.

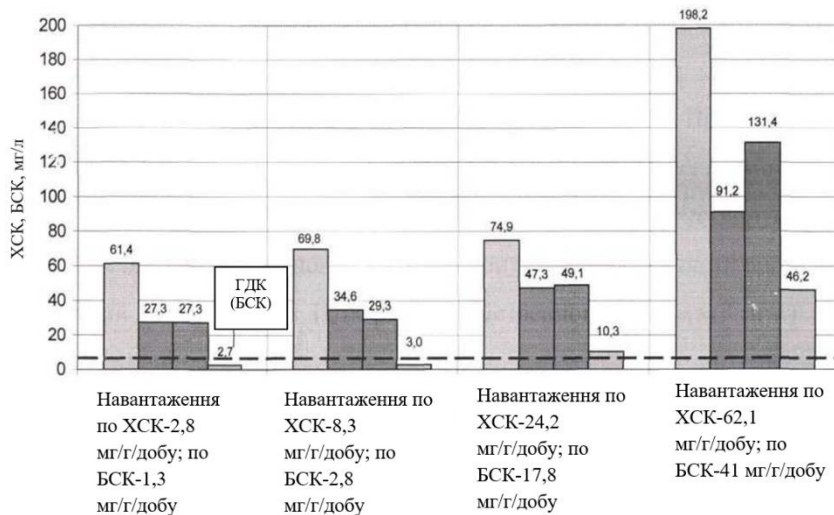


**Рис. 1. Динаміка зміни органічних забруднень за ХСК та БСК у процесі очищення на біосорбері з автошляху:**  
 —▲— вхідна вода, ХСК, —△— очищена вода, ХСК; —●— вхідна вода, БСК; —○— очищена вода, БСК.

При роботі біосорбера у першому режимі (низькі навантаження) після формування та адаптації біоценозу ефективність очищення становила в середньому за ХСК – 55% та за БСК – 90% (рис. 2, 3).

При концентрації органічних забруднень за БСК у вхідній воді до 30 мг/л, в очищеній воді цей показник не перевищував у середньому 2,8 мг/л, що демонструє можливість очищення поверхневого стоку з території автошляхів населеного пункту від органічних забруднень до нормативів ГДК рибного водоймища (3 мг/л).

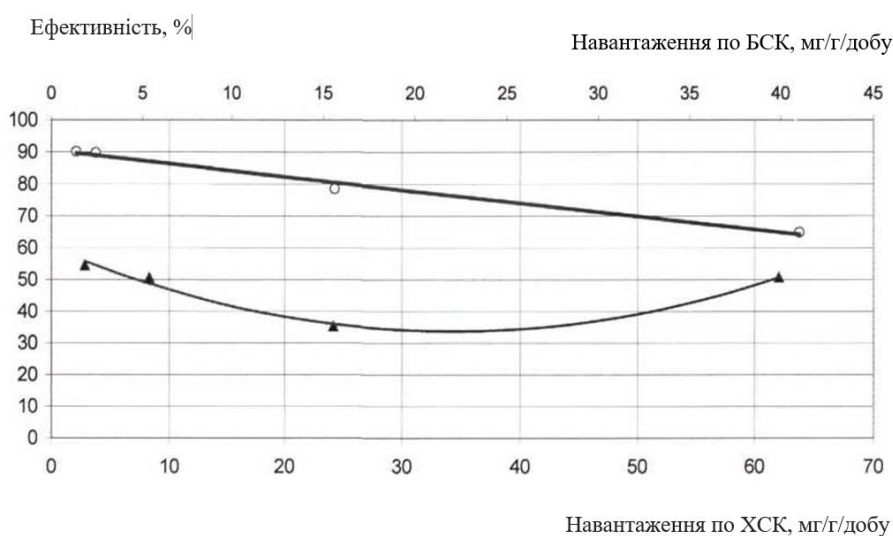
Зі зменшенням часу перебування води з 88 до 30 хвилин ефективність очищення від органічних забруднень знизилася до 50% за ХСК, окислювальна потужність біосорбера зростає за ХСК з 567 г/м<sup>3</sup> добу до 1517 г/м<sup>3</sup> добу та за БСК з 437 г/м<sup>3</sup> добу до 787 г/м<sup>3</sup>. У режимі високих навантажень за БСК 17,8 мг/г добу та 41 мг/г добу (відповідно, 3 і 4 режими) за однакового часу перебування (12 хвилин) ефективність очищення за ХСК становила 35 і 50%, за БСК – 80% та 65%.



**Рис. 2. Зниження органічних забруднень з ХСК та БСК на біосорбері з автошляху:**  
 ■ вхідна вода, ХСК; ■ очищена вода, ХСК; ■ вхідна вода, БСК%; ■ очищена вода, БСК.

Зниження ефективності очищення супроводжується збільшенням окисної потужності біосорбера до 3236 г/м<sup>3</sup> добу за ХСК і 4488 г/м<sup>3</sup> добу за БСК (3 режим). При подальшому збільшенні концентрації органічних речовин (4 режим) ефективність

очищення ХСК зростає до 50%, що пов'язано зі значним розвитком на поверхні зерен завантаження біоплівки (товщиною до 0,5 мм) і значного підвищення концентрації мікроорганізмів у шарі завантаження. Це, у свою чергу, викликало додаткове видалення важкоокислюваних органічних речовин.

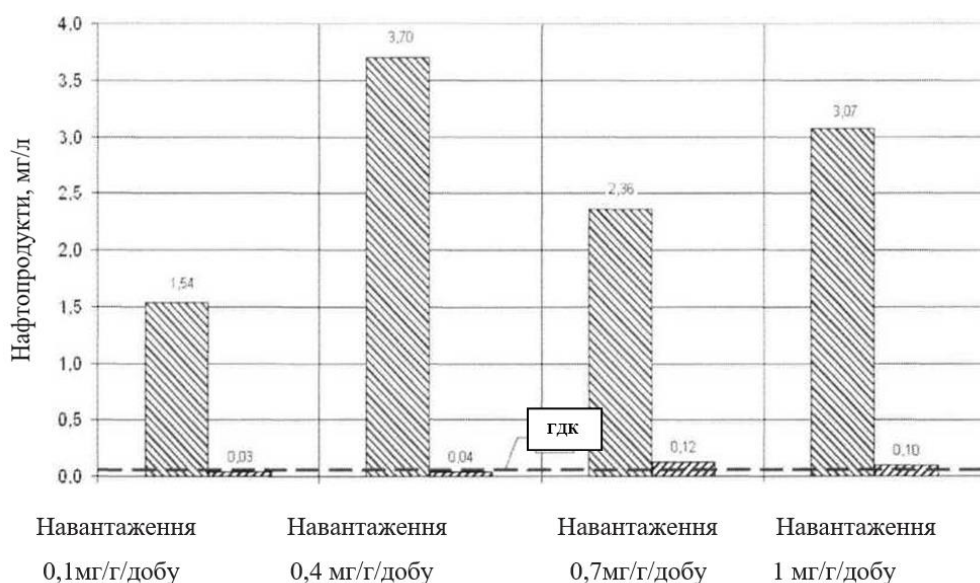


**Рис. 3. Ефективність видалення органічних забруднень ХСК та БСК на біосорбері з автошляхів населеного пункту:**

▲ – ефективність; ХСК, ○ – ефективність, БСК.

Окислювальна потужність біосорбера за ХСК (4 режим) становила 12200 г/м<sup>3</sup> добу і БСК 9684 г/м<sup>3</sup> добу. Концентрація органічних речовин за ХСК знижувалася з 198,2 мг/л до 91,2 мг/л і БСК з 131,4 до 46,2 мг/л (рис. 3).

У стоку, що подається на лабораторну установку, були наявні нафтопродукти в концентраціях від 0,4 до 5,8 мг/л (у середньому 2,6 мг/л). Концентрація нафтопродуктів в очищеній воді змінювалася від 0,02 мг/л до 0,25 мг/л (середнє значення 0,06 мг/л), залежно від навантаження по нафтопродуктах, яке змінювалося від 0,1 до 1 мг/г добу (рис. 4).

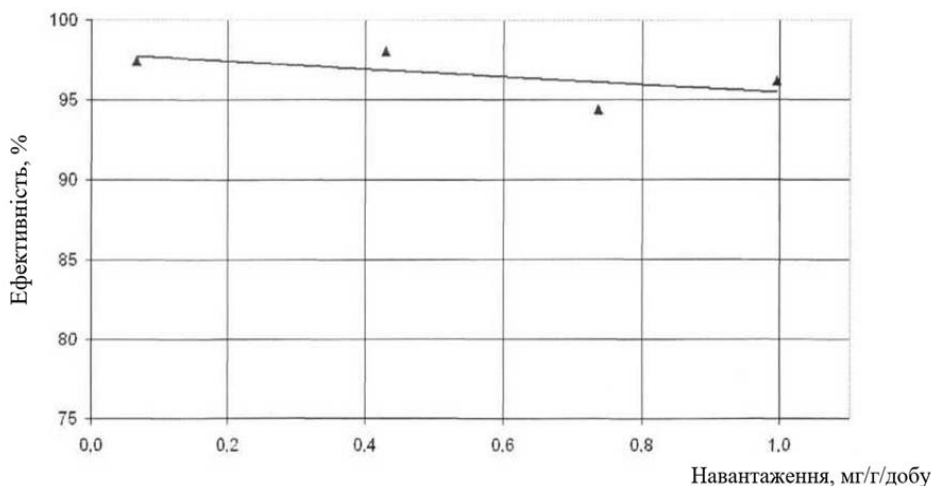


**Рис. 4. Зниження концентрації нафтопродуктів на біосорбері з автошляхів населеного пункту: ▨ вхідна вода; ▩ очищена вода.**



Зі збільшенням навантаження на нафтопродукти зниження ефективності їх видалення було незначним – з 98% до 96% (рис. 5).

При навантаженнях менше 0,5 мг/г добу досягалася якість очищеного стоку, що відповідає нормативам ГДК рибогосподарського водоймища – 0,05 мг/л. Нафтопродукти знижувалися з 1,54 – 3,7 мг/л до 0,03 – 0,04 мг/л.

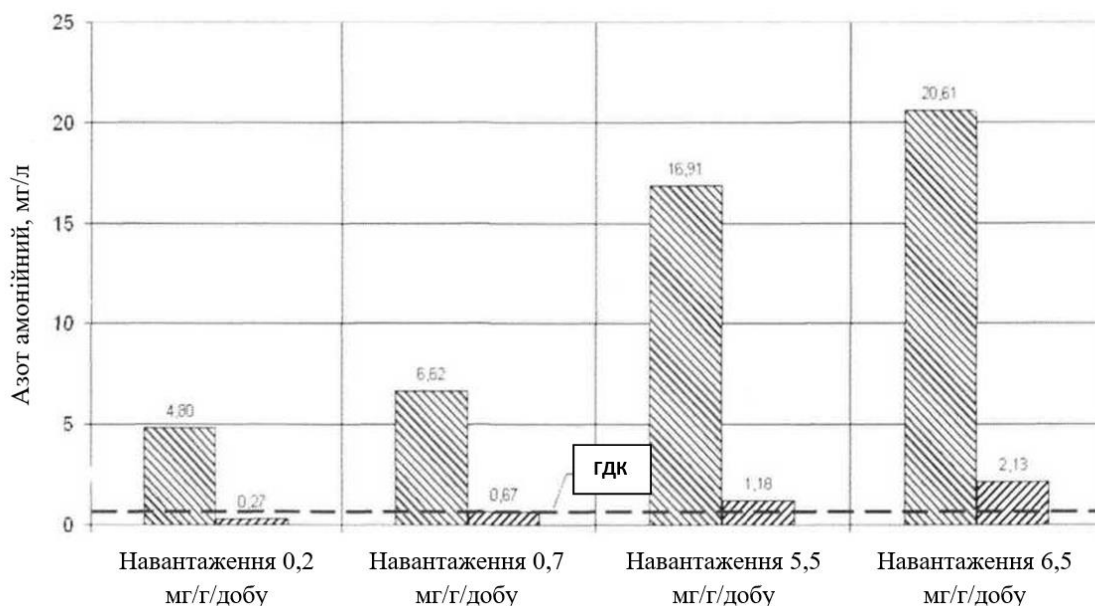


**Рис. 5. Ефективність видалення нафтопродуктів на біосорбтері з автошляху:**

▲ ефективність, %

Наявність нафтопродуктів у стічній воді за даних концентрацій не позначалася несприятливим чином на ефективності процесів нітрифікації (рис. 6). Протягом усього експерименту у біосорбтері інтенсивно протікав процес нітрифікації (рис. 6). При збільшенні навантаження за амонійним азотом з 0,2 до 6,5 мг/г добу відбувалося зниження ефективності очищення з 95% до 89% (рис. 7).

При роботі в режимі навантаження до 0,2 мг/г за добу спостерігалася зниження концентрації азоту амонійного з 4,8 до 0,27 мг/л, тобто нижче нормативу ГДК рибогосподарського водоймища (0,39 мг/л).

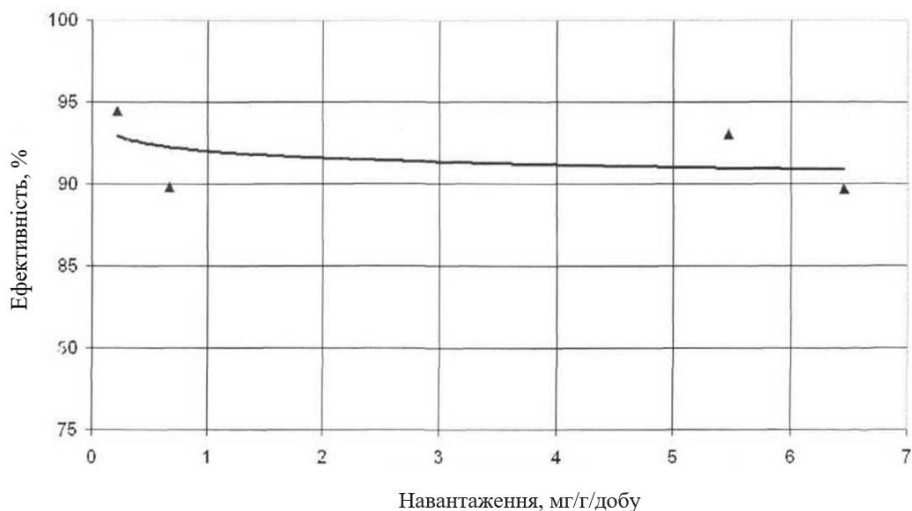


**Рис. 6. Зниження концентрації азоту амонійного на біосорбтері з автошляху:**

▨ вхідна вода; ▩ очищена вода.

При роботі біосорбтерів в усіх режимах концентрація нітритів змінювалася не більше 0,003–0,16 мг/л. Концентрація нітратів в очищеній воді, при роботі в першому та другому

режимах становила 2,3–3,6 мг/л і при роботі в третьому та четвертому 7,74 та 11,51 мг/л, відповідно, при їх вмісті у вхідній воді у концентраціях 0,5–2 мг/л.



**Рис. 7. Ефективність видалення азоту амонійного на біосорбері з автошляху:**

▲ ефективність, %

Проведені дослідження показали можливість глибокого очищення поверхневого стоку в апаратах з псевдозрідженим шаром завантажувального матеріалу від органічних речовин, сполук азоту та специфічних забруднень, у тому числі нафтопродуктів, до нормативів ГДК рибогосподарського призначення.

У процесі теоретичного та експериментального дослідження обґрунтовано доцільність та умови застосування біосорбційного методу для очищення поверхневих стічних вод, що характеризуються значною забрудненістю органічними речовинами та сполуками азоту.

Аналіз наукових джерел показав, що для очищення поверхневого стоку від органічних забруднень і сполук азоту доцільно застосовувати біологічні методи. Найбільш ефективно реалізовувати біологічне очищення поверхневого стоку в біологічних реакторах на носіях, що володіють сорбційною активністю по відношенню до забруднень, що видаляються і не потребують регенерації.

Дослідження з поверхневим стоком з територій автошляху Київ-Одеса в районі Нової Умані (р. Уманка) підтвердило ефективність біосорбційного методу для глибокого очищення поверхневого стоку від розчинених органічних речовин, сполук азоту забруднень (нафтопродуктів, формальдегіду, етиленгліколю тощо) до нормативів ГДК рибогосподарської водойми.

#### Список використаних джерел

1. Айрапетян Т. С. Технологія очистки стічних вод: конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології). Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 120 с.
2. Верниченко–Цветков Д. Ю. Аналіз методів оцінки якісного стану донних відкладів водних об'єктів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ: ВГЛ «Обрії», 2007. Т. 12. С. 31–40.
3. Винарчук О. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод басейнів річок Лівобережного лісостепу України за критеріями мінералізації води та забруднення компонентами сольового складу. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 4: Географія і сучасність*. 2014. №. 20. С. 78–84.
4. Забокрицька М. Р. Методичні рекомендації з вивчення забруднення природних вод у курсі «Раціональне використання та охорона водних ресурсів». Луцьк: Вежа-Друк, 2021. 36 с.
5. Клименко М. О., Бедункова О. О. Біоіндикація стану гідроекосистем за морфологічними та цитогенетичними характеристиками гомеостазу риб. Рівне: НУВГП, 2017. 302 с.
6. Кляченко О. Л., Мельничук М. Д., Іванова Т. В. Екологічні біотехнології: теорія і практика: навч. посібн. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 254 с.



7. Косовець Г., Ніколаєнко М. Інновації в забезпеченні екологічної безпеки якісної води. *Продовольча індустрія АПК*. 2017. № 6. С. 18–22.
8. Маджд С. М. Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм. *Екологічна безпека та природокористування*: зб. наук. праць. Київ, 2014. Вип. 14. С. 101–106.
9. Малецький З. В. Гібридні сорбенти та їх використання в процесах очищення води від феруму та арсену: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.21. Київ, 2013. 20 с.
10. Матіюк С. М., Грубінко В. В. Використання природних та абсорбтивних субстанцій для очищення природних та стічних вод *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2019. № 4. С. 69–85.
11. Семінська О. О., Кучерук Д. Д., Балакіна М. М., Гончарук В. В. Очищення міських стічних вод мембранними методами. *Доповіді Національної академії наук України*. 2016. № 11. С. 112–116.
12. Хоружий П. Д., Стасюк С. Р., Мосійчук Я. Б. Методика інженерних розрахунків біореакторів для біологічного очищення природних і доочищення стічних вод. *Меліорація і водне господарство*. 2018. № 1. С. 11–16.

### References

1. Airapetian, T. S. (2021). Tekhnolohiia ochystky stichnykh vod. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
2. Vernychenko–Tsvetkov, D. Yu. (2007). Analiz metodiv otsinky yakisnoho stanu donnykh vidkladiv vodnykh ob'ektiv. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*, 12, 31–40 [in Ukrainian].
3. Vynarchuk, O. O. (2014). Ekolohichna otsinka yakosti poverkhnevnykh vod baseyniv richok Livoberezhnoho lisostepu Ukrainy za kryteriiamy mineralizatsii vody ta zabrudnennia komponentamy solovoho skladu. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Drahomanova. Seriiia 4: Heohrafiia i suchasnist*, 20, 78–84 [in Ukrainian].
4. Zabokrytsk, M. R. (2021). Metodychni rekomendatsii z vyvchennia zabrudnennia pryrodnykh vod u kursii “Ratsionalne vykorystannia ta okhorona vodnykh resursiv”. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].
5. Klymenko, M. O., Bedunkova O. O. (2017). Bioindykatsiia stanu hidroekosystem za morfolohichnymy ta tsytohennychnymy kharakterystykamy homeostazu ryb. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
6. Kliachenko, O. L., Melnychuk, M. D., Ivanova, T. V. (2015). Ekolohichni biotekhnolohii: teoriia i praktyka. Vinnytsia: TOV «Nilan-LTD» [in Ukrainian].
7. Kosovets, H., Nikolaienko, M. (2017). Innovatsii v zabezpechenni ekolohichnoi bezpeky yakisnoi vody. *Prodovolcha industriia APK*, 6, 18–22 [in Ukrainian].
8. Madzhd, S. M. (2014). Otsinka tekhnogennoho vplyvu aviapidpriemstv na stan vodoim. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*, 14, 101–106 [in Ukrainian].
9. Maletskyi, Z. V. (2013). Hibrydni sorbenty ta yikh vykorystannia v protsesakh ochyshchennia vody vid ferumu ta arsenu. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Matiuk, S. M., Hrubinko, V. V. (2019). Vykorystannia pryrodnykh ta absorbtivnykh substantsii dlia ochyshchennia pryrodnykh ta stichnykh vod. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. Volodymyra Hnatiuka. Seriiia: Biolohiia*, 4, 69–85 [in Ukrainian].
11. Seminska, O. O., Kucheruk, D. D., Balakina, M. M., Honcharuk, V. V. (2016). Ochyshchennia miskykh stichnykh vod membrannymy metodamy. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 11, 112–116 [in Ukrainian].
12. Khoruzhyi, P. D., Stasiuk, S. R., Mosiichuk, Ya. B. (2018). Metodyka inzhenernykh rozrakhunkiv bioreaktoriv dlia biolohichnoho ochyshchennia pryrodnykh i doochyshchennia stichnykh vod. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 1, 11–16 [in Ukrainian].