

УДК: 551.577.1

Olha Bohomaz, PhD, Associate Professor of the Department of Environmental Protection
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8521-0394> **e-mail:** olha.bohomaz@donntu.edu.ua

Viktor Kostenko, Dr, Prof., Head of the Department of Environmental Protection
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564> **e-mail:** vk.kostenko@gmail.com

Maryna Tavrel, Assistant of the Department of Environmental Protection
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7666-4554> **e-mail:** maryna.tavrel@donntu.edu.ua

Krystyna Hlavatskykh, student
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-9033-2764>
e-mail: krystyna.hlavatskykh.gf@donntu.edu.ua

SHEI «Donetsk National Technical University», Lutsk, Ukraine

ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF THE CITY OF POKROVSK FOR THE ACCUMULATION AND USE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION

Abstract. *The problem of water shortage in the city of Pokrovsk, Donetsk region, requires the search for alternative sources of water supply, especially for the needs of industry and agriculture. Atmospheric precipitation is considered as an alternative source. However, at the stage of choosing and developing a method of managing rainwater from an urbanized area and implementing technical means for its accumulation, storage, and use, it is important to assess the quantitative indicators of stormwater runoff. Research is aimed at substantiating the possibility of using atmospheric precipitation as an auxiliary source of water supply for industrial-communal, domestic, and agricultural needs based on statistical determination of the dynamics of precipitation on the territory of the city of Pokrovsk. Changes in rainwater runoff parameters were determined based on the analysis of the meteorological data archive for the period 1985–2022.*

The study found that the city of Pokrovsk has the potential for wastewater accumulation. The city has a tendency to increase the frequency of high-intensity storms with a 34.89% increase in the average height of the precipitation layer for one abnormal rainy day. Over the period 2004–2022, the average annual and annual rainfall per rainy day increased slightly by 0.56% and 6.23%, respectively, compared to the same period in the previous year (1985–2003), while the average number of rainy days per year decreased by 5.25%.

The dynamics of annual volumes of surface wastewater indicates the need to improve the city's rainwater accumulation system, which should provide a 35% increase in the current flow rate of abnormal rainfall and eliminate the risk of flooding. To do this, the storage capacity should be increased by deepening the city pond "Nulyovka" and the ridge located downstream. It is expedient for private households to create individual sediment accumulators.

Keywords: *rainfall; urban wastewater accumulation system; alternative water supply.*

О.П. Богомаз, В.К. Костенко, М.І. Таврель, К.М. Главатських

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Луцьк, Україна

АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ МІСТА ПОКРОВСЬК ЩОДО НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ

***Анотація.** Проблема дефіциту води у місті Покровськ Донецької області вимагає пошуку альтернативних джерел водопостачання, особливо для потреб промисловості та агропромислового комплексу. Як альтернативне джерело розглядаються атмосферні опади. Однак на етапі вибору та розробки способу управління дощовою водою з урбанізованої території та впровадження технічних засобів щодо їх накопичення, зберігання та використання важливою є оцінка кількісних показників зливових стоків в даному місці із заданим режимом водозбору. Дослідження спрямовані на обґрунтування можливості використання атмосферних опадів в якості допоміжного джерела водопостачання на промислово-комунальні, побутові та аграрні потреби на основі статистичного визначення динаміки надходження осадів на територію міста Покровськ. Визначення зміни параметрів дощових стоків проводилися на підставі аналізу архіву метеорологічних даних за період 1985–2022 роки.*

В ході дослідження встановлено, що місто Покровськ має потенціал до накопичення стоків. В місті простежується тенденція щодо зростання частоти злив високої інтенсивності зі збільшенням на 34,89% середньої висоти шару опадів за один аномальний дощовий день. За період 2004–2022 роки середня висота шару опадів за рік та за один дощовий день незначно збільшилися на 0,56% та 6,23% відповідно у порівнянні з аналогічним попереднім періодом (1985–2003), при цьому середня кількість дощових днів за рік зменшилась на 5,25%.

Динаміка річних обсягів поверхневих стічних вод вказує на необхідність удосконалення міської системи акумулювання дощової води, яка має забезпечувати збільшену на 35% від сучасної витрати стоків аномальних дощів і виключити небезпеку підтоплення території. Для цього слід збільшити накопичувальну спроможність заглибленням міського ставка «Нульовка» та гряди розташованих нижче за течією. Приватним домогосподарствам доцільно створювати індивідуальні накопичувачі осадів.

***Ключові слова:** дощові опади; міська система акумулювання стоків; альтернативне водопостачання.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.48-61>

Вступ

Донеччина є одним з найменш забезпечених водними ресурсами регіонів України. Це пов'язано з тим, що регіон розташований вздовж Донецького кряжу на водорозділі басейнів основних річок Сіверського Донця і Дніпра. Ці ріки, а також відносно крупні Міус і Кальміус та дрібніші, виносять свої води до Азовського і Чорного морів. Основним і майже єдиним постачальником води є Сіверський Донець. Деяка частина притоку води забезпечується високо мінералізованими шахтними стоками, що потрапляють з надр і суттєво забруднюють гідрографічну мережу. Планувалось створення потужного водогону з Дніпра, але за останні десятиріччя ця, майже добудована, споруда розграбована. Вагомим джерелом водопостачання слід вважати атмосферні опади.

Густина населення в Донбасі, за довоєнними показниками, була найвищою в Україні. Але забезпеченість питною водою завжди була недостатньою. Висока концентрація видобувних, металургійних, хімічних, переробних, транспортних та інших підприємств – споживачів водних ресурсів – визначила хронічний дефіцит технологічної якості води. Значна частина втрат дощових опадів, особливо при інтенсивних зливах, обумовлена суглинковим складом верхнього шару ґрунтів Донбасу. Наявність глинистих схильних до розбухання під впливом води часток у складі поверхневого шару ґрунту визначає малу величину фільтрації і, відповідно, малу проникливість води до нижчих шарів. Значна частина інтенсивних опадів випаровується або стікає по непроникливому для води шару ґрунту до річок та ручаїв, не потрапляючи до кореневих систем рослин. Внаслідок нестабільності літніх опадів та нестачі поливних вод Донеччина – зона ризикованого землеробства.

Водні ресурси Донбасу депонуються у водосховищах (Карлівське, Клебан-Бикське та інші) і використовуються населенням у господарсько-побутових цілях, для пиття, агропромисловими підприємствами, а також хімічними, металургійними та енергетичними підприємствами у технологічних процесах. Деякі промислові підприємства створюють власні спеціалізовані водойми, наприклад ставки-охолоджувачі для Курахівської, Зуєвської і низки інших ТЕС, гряда міських ставків Донецького металургійного заводу та тому подібні.

Серйозні проблеми із забезпеченням регіону водою посилились у 2014 році з початком військової агресії проти України. Постійні обстріли водорозподільних та фільтрувальних станцій призвели до відсутності централізованого водопостачання (впродовж 1–2 місяців, а інколи й більше) у невеликих населених пунктах західної та південно-західної частини Донецької області. Після лютого 2022 року внаслідок військових дій було повністю знищено значну кількість гідротехнічних споруд, що, своєю чергою, спричинило обміління Сіверського Донця та, відповідно, прилеглих до нього водосховищ та малих річок.

Ситуація посилилася кліматичними особливостями регіону – спекотним літом з обмеженою кількістю атмосферних опадів. В результаті більшість промислових підприємств та майже 80% населення регіону залишилися без централізованого та якісного водопостачання. Погіршення урбоекологічної обстановки призвело, наприклад, до зростання, без того, найвищого у державі рівня захворюваності населення на нирковокам'яну та сечокам'яну хвороби.

Наразі проблема забезпечення водою населення регіону вирішується локально – шляхом буріння свердловин, але це повною мірою не вирішує проблему, оскільки стихійне їх буріння призводить до зміни гідрологічного режиму водоносних шарів, як наслідок – рівень води у колодязях та свердловинах значно знижується, а в деяких місцях вода повністю зникає. До того ж вода зі свердловин, через близьке розташування шахтних вод високої мінералізації, забруднена різноманітними розчиненими мінеральними домішками, а тому без додаткового очищення не може використовуватися в агропромисловому секторі та промисловості.

Важливим залишається розширення водних ресурсів Донбасу як за рахунок удосконалення існуючих, так й шляхом пошуку альтернативних джерел водопостачання, особливо для потреб промисловості та агропромислового

комплексу. Найбільш актуальною стала необхідність забезпечення питних та комунальних потреб населення у населених пунктах, місцях проживання та міграції в умовах військових дій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дефіцит чистої води на планеті постійно спонукає науковців до пошуку альтернативних джерел водопостачання. Водночас зміна клімату та збільшення кількості повеней, які спричиняють серйозні екологічні, соціальні та економічні збитки, призвели до загострення проблеми управління ресурсами дощової води. Опади стали розглядати як цінний ресурс, яким необхідно розумно керувати, задля зменшення ризику повені, протидії посуші, покращення якості життя на урбанізованих територіях. Археологічні дослідження вказують на наявність подібних древніх технологій на Близькому Сході та у індіанців Майя.

Сучасний досвід використання дощової води у різних країнах свідчить про перспективність цього напрямку. Так, у місті Турін (Італія) створено домові системи збору дощової води, яку надалі використовують для побутових потреб (наприклад, змив туалету, прання одягу, миття підлог та автомобілів), а також для загального використання (зрошення зелених зон міста, миття вулиць) [1], при цьому економиться 29–62% чистої питної води. В Іспанії, Франції, Германії зі всіх нетрадиційних водних ресурсів використання дощової води для побутових непитних цілей є найпопулярнішим варіантом серед місцевого населення [2]. В Нігерії, африканській країні з дуже посушливим кліматом, але з наявністю періоду затяжних опадів, дощову воду використовують для потреб сільського господарства [3].

Системи, що використовуються для збору та накопичення дощових вод, дуже різняться за своїми конструктивними параметрами та призначенням.

За призначенням всі традиційні системи збору атмосферних опадів поділяються на загальноміські та індивідуальні (домові). Загальноміські системи збору дощових опадів – це так звані зливові каналізації, їх будівництво на території вже існуючого міста передбачає значні капітальні затрати. Зібрана таким чином дощова вода потребує додаткового очищення, оскільки стікання по урбанізованій території призводить до забруднення її завислими речовинами, нафтопродуктами, важкими металами та іншими шкідливими хімічними сполуками. Важливим є визначення конструктивних параметрів таких систем в цілях безперебійного уловлювання, накопичення і транспортування опадів при екстремальних показниках випадання вологи.

Індивідуальні системи передбачають збір дощової води з дахів, терас, дворів та інших твердих непроникних поверхонь у спеціальні накопичувальні баки. Така вода не потребує глибокого очищення, достатньо лише застосувати фільтр для вилучення грубого завислого сміття (палки, листя, комахи). Показовою країною в плані застосування домових систем збору дощової води є Австралія. Так, близько 1,7 млн австралійських домогосподарств мають резервуари для дощової води, які забезпечують від 8% до 14% води, що використовується для побутових потреб [4–5].

У розвинутих країнах досить поширеним є комбінація загальноміських та індивідуальних систем збору води. Це поєднання дозволяє використовувати до 90–95% всіх опадів.

Основним фактором, який обумовлює використання певної системи збору атмосферних опадів, є регіональні кліматичні умови. Тому на етапі вибору та розробки способу управління дощовою водою з урбанізованої території та впровадження технічних засобів щодо їх накопичення, зберігання та використання важливою є оцінка кількісних показників зливових стоків в даному місці із заданим режимом водозбору.

Мета та завдання дослідження

Метою досліджень є обґрунтування можливості використання атмосферних опадів в якості допоміжного джерела водопостачання на промислово-комунальні, побутові та аграрні потреби на основі статистичного визначення динаміки надходження опадів на територію міста Покровськ.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних завдань:

- виявлення на основі статистичного аналізу тенденції щодо зміни за останні десятиріччя висоти річного шару опадів, також флуктуації максимальних добових шарів опадів;
- визначити потенціал річного обсягу поверхневих стічних вод, що утворюється на території м. Покровськ;
- обґрунтувати можливості раціонального використання атмосферних опадів у міському та приватних господарствах.

Методика досліджень

Метою було, на основі статистичного аналізу, виявлення тенденції щодо зміни висот річного шару опадів, також максимальних добових шарів опадів різної повторюваності. Джерелом інформаційних досліджень був метеорологічний архів сайту Meteoblue [6].

Для отримання більш вірогідних даних досліджуваний період (38 років) було поділено на два рівні часові відрізки по 19 років кожний: I – 1985–2003, II – 2004–2022 роки. По кожному періоду було визначено середню кількість дощів за рік, середню висоту шару опадів за рік ($H_{\text{ср}}$, мм/рік), середню добову висоту шару опадів за один дощовий день ($h_{\text{ср,д}}$, мм/добу) та середню висоту шару опадів, що припадає на одну добу календарного року ($h_{\text{к}}$, мм/добу). Також було проаналізовано та визначено кількість дощових днів з аномальною кількістю опадів (коли за добу випадає півмісячна норма опадів) (N) і, відповідно, розраховано середню висоту шару опадів за один аномальний дощовий день (H_N , мм/добу).

На другому етапі досліджень було проаналізовано річний обсяг поверхневих стічних вод, що утворюється на території м. Покровськ.

Річний обсяг поверхневих стічних вод, що утворюються на території водозбору, визначали як суму поверхневого стоку за теплий (квітень-жовтень) та холодний (листопад-березень) періоди року із загальної площі водозбору об'єкта, а також з врахуванням об'єму поливо-мийних вод:

$$W = W_D + W_C + W_M, \quad (1)$$

де W_D – середньорічний об'єм стоку, що утворився під час випадання дощу у теплий період року, м³/рік;

W_C – середньорічний об'єм стоку, що утворився внаслідок танення снігу у холодний період року, м³/рік;

W_M – річний об'єм поливо-мийних вод, м³/рік.

Через дефіцит води у місті поливо-мийні роботи протягом теплого періоду року майже не проводяться, тому при обчислюванні річного обсягу поверхневих стічних вод показник W_M не враховували.

Середньорічний обсяг дощових (W_D) та талих (W_C) вод, в м³, визначали за формулами [7]:

$$W_D = 0,1 \cdot h_D \cdot Y_D \cdot F, \quad (2)$$

$$W_C = 0,1 \cdot h_C \cdot Y_C \cdot F, \quad (3)$$

де h_D, h_C – середньорічна висота шару опадів за теплий та холодний періоди року, відповідно, мм;

F – розрахункова площа стоку, га;

Y_D, Y_C – загальний коефіцієнт стоку дощових та талих вод відповідно.

Інтенсивність випадіння опадів на значних територіях характеризується просторовою нерівномірністю, тому при обчислюванні кількісних показників опадів, для басейнів стоку площею понад 500 га, рекомендовано використовувати понижувальний коефіцієнт k , який з достатньою точністю (коефіцієнт детермінованості $R^2 = 0,9885$) описано лінійним трендом [8]:

$$k = 0,951 - 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot F.$$

Для дощового стоку міста Покровськ коефіцієнт k дорівнюватиме

$$k = 0,951 - 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot 2957 = 0,83,$$

відповідно формули (2) та (3) матимуть вигляд:

$$W_D = 0,1 \cdot h_D \cdot Y_D \cdot 0,83 \cdot F; \quad (4)$$

$$W_C = 0,1 \cdot h_C \cdot Y_C \cdot 0,83 \cdot F. \quad (5)$$

Виклад основного матеріалу

Місто Покровськ, площею 29,57 км² та населенням 60 127 осіб (станом на 2022 р.), розташоване в західній частині Донецької області і є адміністративним центром Покровської міської територіальної громади. Місто є типовим для Донбасу за населеністю, водоспоживанням, кліматом, промисловістю тощо, подібним до більшості міст з населенням до 100 тис. осіб, в яких проживає приблизно 80% населення Донбасу.

Промисловий комплекс міста представлений гірничодобувною, вогнетривкою, харчовою та сільськогосподарською промисловістю. Основну роль в промисловості міста відіграють вугледобувне підприємство

ПрАТ «ШУ «Покровське» та підприємство з виготовлення вогнетривких виробів – ПрАТ «КДЗ», вони є не лише великими споживачами чистої води, але й основними забруднювачами довкілля.

Особливістю м. Покровськ та розташованих поблизу нього населених пунктів є відсутність таких, що знаходяться поблизу, джерел питної води. Міський ставок «Нульовка» має середню глибину близько двох метрів, влітку вода інтенсивно прогривається і непридатна для купання. Він та розташовані нижче за течією інші подібні ставки поповнюються переважно каналізаційними та поверхневими стічними водами і в літню пору інтенсивно «квітнуть». Певне самоочищення води у ставках відбувається за рахунок прибережної рослинності – рогозу, очерету тощо [9].

Для забезпечення водою населення та підприємств використовують водогін від Карлівського водосховища протяжністю понад 40 км. У час війни насосні та фільтрувальні установки часто піддаються обстрілам та ушкодженням, що призводить до значних перебоїв у водопостачанні від кількох діб до місяця. Якість води у водопроводі не завжди забезпечується на потрібному рівні. Для пиття населення переважно купує воду у пляшках або доочищену воду, що розвозять у цистернах.

Функціонально-морфологічна структура міста Покровськ є неоднорідною. Близько 30% площі міста ($\approx 9 \text{ км}^2$) займає промислова та паркова зона, на долю багатопверхової забудови припадає лише 10% ($\approx 3 \text{ км}^2$) площі, значну ж частину площі міста, близько 60% ($\approx 17 \text{ км}^2$), складають приватні забудови з присадибними територіями. Околиці міста оточують дачні садові й городні ділянки (рис. 1). У посушливі періоди (наприклад, відсутність дощів з травня по жовтень 2020 року) відчувається гострий дефіцит поливної води через падіння тиску у водопроводі і зниження водних горизонтів у свердловинах. Врожайність суттєво знижується, це визначає значну економічну та побутову проблему для населення.

Для визначення зміни параметрів випадіння атмосферних опадів у місті Покровськ Донецької області було проведено статистичну обробку рядів гідрометеорологічних спостережень за добовою висотою шару атмосферних опадів за період з 1985 по 2022 роки (табл. 1).

Проведення порівнянь за відносно значний період щорічних спостережень, який дорівнює приблизно двом десятиріччям, дозволяє мати більш надійні результати. Отримані показники свідчать про те, що за останні майже два десятиріччя (2004–2022 роки) середня кількість дощів за рік зменшилась на 5,25% відносно попередніх (1985–2003). У той же строк середня висота шару опадів за рік та за один дощовий день незначно збільшилися на 0,56% та 6,23% відповідно. Натомість за останні 19 років спостерігається збільшення частоти випадання злив високої інтенсивності, коли за один дощовий день випадає півмісячна норма опадів. Якщо в 1985–2003 роках в середньому кожен п'ятий дощ був аномальним, то у 2004–2022 роках – в середньому кожен третій. Окрім частоти випадіння злив високої інтенсивності, на 34,89% збільшилась й середня висота шару опадів за один аномальний дощовий день.

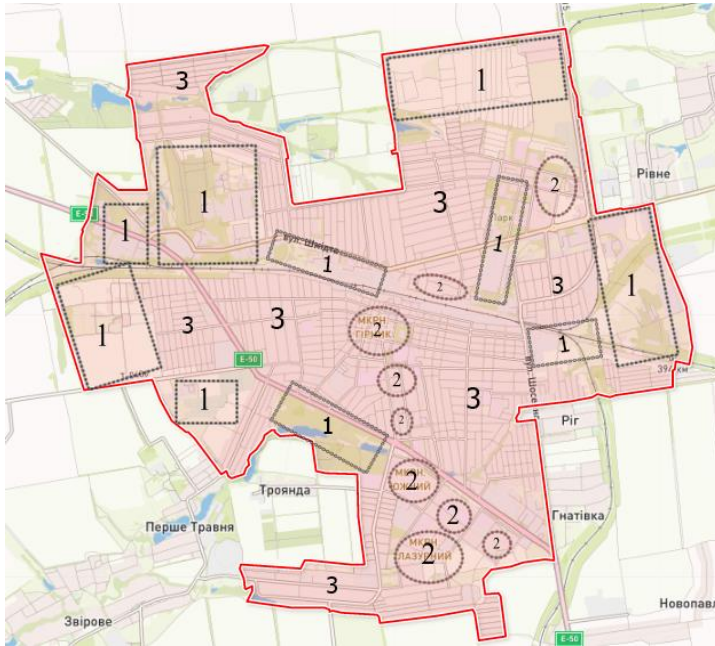


Рис. 1. Функціонально-морфологічна структура міста Покровськ: 1 – промислова та паркова зона; 2 – багатоповерхова забудова; 3 – приватна забудова

Таблиця 1. Показники опадів у місті Покровськ за період з 1985 по 2022 роки

№	Період	Повних років досліджень	Середня кількість дощових днів за рік	Висота шару опадів, мм			N	H _N , мм/добу
				H _{ср}	h _{ср.д}	h _к		
1	1985–2003	19	154,53	496,32	3,21	1,359	33	22,10
2	2004–2022	19	146,42	499,11	3,41	1,367	51	29,81
3	1985–2022	38	150,47	497,72	3,31	1,36	84	26,78

N – кількість дощових днів з аномальною кількістю опадів;

H_N – середня висота шару опадів за один аномальний дощовий день

Таким чином можна стверджувати, що витратні показники річних опадів у м. Покровськ за зазначений період змінились незначно, однак, інтенсивність аномальних опадів мала тенденцію до зростання близько на третину. Це важливо враховувати при проектуванні локальних накопичувачів дощових стоків.

При розрахунку середньорічного обсягу дощових та талих вод важливе значення має коефіцієнт стоку (Y_д, Y_с). У теплий період року даний коефіцієнт враховує втрати на початкове затримання, інфільтрацію та випаровування і залежить від типу поверхневого покриття, а в холодний період – вивіз снігу та часткове поглинання водопроникними поверхнями.

Згідно з діючими в Україні методиками та нормативними документами, що використовуються для розрахунку обсягів дощового стоку, числові значення коефіцієнта стоку дуже різняться. Авторами [10] було проаналізовано чотири основні методики та визначено, що найбільш інформативними щодо визначення коефіцієнта стоку є "Правила користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України" [11]. Відповідно до цього, коефіцієнт стоку талих вод $Y_C = 0,6$, а коефіцієнт стоку дощових вод різниться від 0,1 для газонів, до 0,7 для удосконалених покриттів (дахи й асфальтобетонні покриття). Через важкість підрахунку точної площі покриттів різної категорії застосовується загальний коефіцієнт стоку дощових вод, який для середніх міст, з населенням 50–250 тис. осіб, становить $Y_D = 0,45$.

На підставі метеорологічного архіву за період 1985–2022 роки було визначено, що середньорічна висота шару опадів за теплий період року становить $h_D = 39,69$ мм, а за холодний період року – $h_C = 43,98$ мм. Таким чином, середньорічний обсяг дощових (W_D) та талих (W_C) вод, а також річний обсяг поверхневих стічних вод становитиме:

$$\begin{aligned}W_D &= 0,1 \cdot 39,69 \cdot 0,45 \cdot 0,83 \cdot 2957 = 4383,52 \text{ м}^3/\text{рік}, \\W_C &= 0,1 \cdot 43,98 \cdot 0,6 \cdot 0,83 \cdot 2957 = 6476,43 \text{ м}^3/\text{рік}, \\W &= 4383,52 + 6476,43 = 10859,95 \text{ м}^3/\text{рік}.\end{aligned}$$

Аналіз гідротехнічної мережі міста Покровськ свідчить про те, що в місті наразі відсутня централізована система збору зливових стоків, відповідно, нерідко спостерігається підтоплення центральної частини міста, яка є найнижчою точкою. Збільшення дощових днів з аномальною кількістю опадів вже зараз спричиняє появу небажаних екологічних та економічних наслідків, надалі ситуація буде лише погіршуватися, особливо критичною вона стане для видозмінених (техногенних) ландшафтів з високою щільністю забудови [12]. Тому важливим є створення та впровадження в місті системи акумулювання дощової води з метою подальшого її використання для різних галузей народного господарства.

Впровадити єдину загальноміську систему збору дощового стоку, яка б охоплювала всю частину міста, особливо приватний сектор, наразі є неможливим, оскільки це пов'язано зі значними капітальними затратами. Тому слід розглянути комбіновану систему збору дощової води, яка включатиме збір стоків з центральних вулиць міста, де розташовані багатоповерхівки, та індивідуальний збір води приватними домогосподарствами.

Дощову воду, зібрану загальноміськими системами збору, доцільно направляти у ставок «Нульовка», що розташований у парковій зоні міста, однак для цього потрібно збільшити обсяг ставка за рахунок поглиблення. Наразі частина опадів вже потрапляє в цей ставок, але через обмеженість об'єму ставка, в період інтенсивних злив, спостерігається явище повіддя. Акумульовану таким чином воду можна використовувати на поливо-мийні роботи, які, як зазначалось вище, через дефіцит води в місті майже не проводяться. Також слід розглянути можливість застосування акумульованого дощового стоку для розбавлення агресивних шахтних вод і, за умови

отримання води належної якості, передавати останню сільськогосподарським підприємствам, що розташовані поблизу міста.

Необхідно впроваджувати міри з попередження евтрифікаційних процесів у ставках-накопичувачах опадів. Для цього доцільно встановлювати системи аерації, які, в цілях економії, використовують для роботи вітрову енергію (рис. 2) [13].

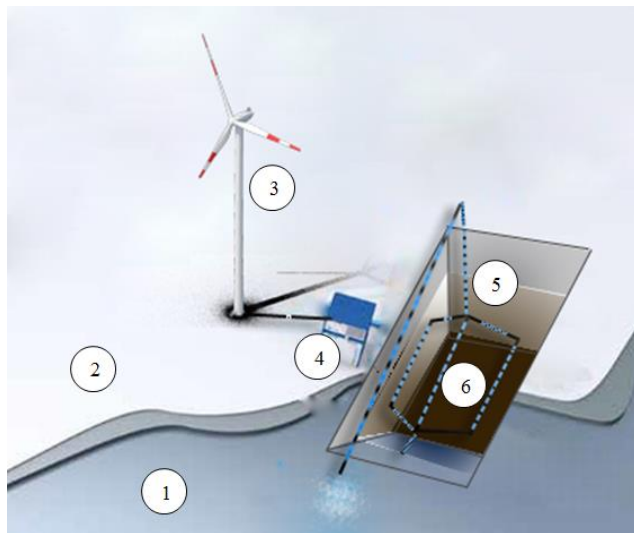


Рис. 2. Конструкція системи аерації водойм із застосуванням вітрової енергії: 1 – водойма; 2 – ґрунт; 3 – вітряк; 4 – компресор; 5 – установка з аерації; 6 – труби геотермальної системи для терморегуляції води [14]

Проаналізувавши кількість дощових днів у м. Покровськ по сезонах, було визначено, що середня кількість дощових днів у холодний сезон становить 76,58 днів, а у теплий – 73,89 дні, при цьому видно, що майже половина річного обсягу опадів випадає саме у вегетаційний період, але випадають вони переважно у вигляді злив, внаслідок чого обмежено впливають на забезпечення рослин водою (рис. 3).

Відомо, що вегетаційний період в Донецькій області характеризується двома періодами посухи: 1 – кінець квітня-травень, 2 – серпень-вересень. Ситуація в цей період погіршується наявністю суховіїв, кількість яких сягає понад 70 днів на рік, що є найвищим показником для України (для прикладу, Київська область – до 20 днів на рік, Львівська – 5–10 днів на рік) [15]. Суховії не лише призводять до вітрової ерозії ґрунтів, а й у 2–3 рази збільшують коефіцієнти водоспоживання рослин. Тому для отримання високої врожайності сільськогосподарських культур слід забезпечити безперервно рослини водою протягом усього вегетаційного періоду. Вирішити цю проблему можна за рахунок впровадження систем акумулювання дощових опадів приватними домогосподарствами. Зібрана дощова вода дозволить заповнити дефіцит паливної води в посушливий період та знизити навантаження на міську централізовану систему водопостачання.

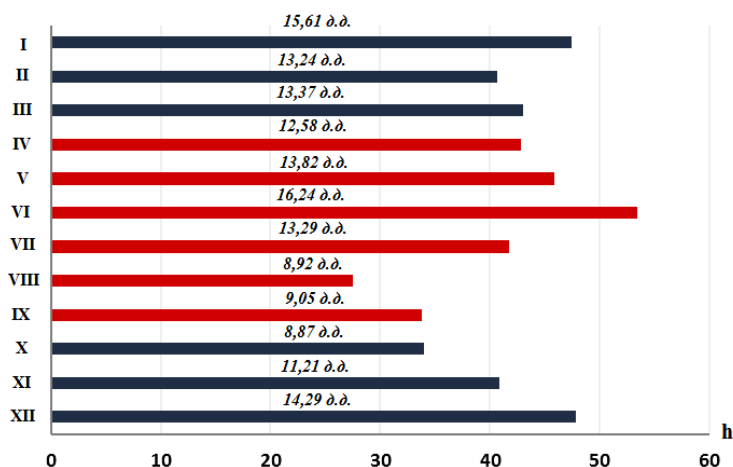


Рис. 3. Середньомісячна кількість опадів за період 1985–2022: д.д. – кількість дощових днів, h – середньомісячна кількість опадів, мм/міс, I–XII – місяці року

Висновки

Проведений статистичний аналіз метеорологічних даних за період 1985–2022 роки м. Покровськ Донецької області дозволив отримати наступні висновки.

– За період 2004–2022 роки середня висота шару опадів за рік та за один дощовий день незначно збільшилися на 0,56% та 6,23% відповідно у порівнянні з аналогічним попереднім періодом (1985–2003), при цьому середня кількість дощових днів за рік зменшилась на 5,25%.

– Простежується тенденція щодо зростання частоти злив високої інтенсивності зі збільшенням на 34,89% середньої висоти шару опадів за один аномальний дощовий день.

– З урахуванням просторової нерівномірності випадіння опадів визначено, що в середньому річний обсяг поверхневих стічних вод у місті Покровськ становить $W = 10859,95 \text{ м}^3/\text{рік}$, при цьому кількість вод, що утворюється у холодний період (талі води), на 1,48 рази більше від кількості дощових вод, що утворюється у теплий період року.

– Атмосферні опади доцільно розглядати як допоміжне джерело водозабезпечення міста Покровськ. Необхідно збільшити депонування стоків, особливо у зимовий період. Для цього слід збільшити накопичувальну спроможність заглибленням міського ставка «Нульовка» та гряди розташованих нижче за течією. Приватним домогосподарствам доцільно створювати індивідуальні накопичувачі опадів.

– Динаміка річних обсягів поверхневих стічних вод вказує на необхідність удосконалення міської системи акумулювання дощової води, яка має забезпечувати збільшену на 35% від сучасної витрати стоків аномальних дощів і виключити небезпеку підтоплень територій.

– Застосування комбінованої системи акумулювання дощової води в глобальному плані не вирішить проблему дефіциту води у місті, водночас за рахунок збільшення уловлених та накопичених атмосферних опадів дозволить знизити навантаження на міську централізовану систему водопостачання у посушливі періоди року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Carollo, M., Butera, I. & Revelli, R. (2022). Water savings and urban storm water management: Evaluation of the potentiality of rainwater harvesting systems from the building to the city scale. *Public Library of Science (PLoS)*, №17(11), e0278107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278107>
2. March, H., Hernández, M. & Saurí, D. (2015). Assessing domestic water use habits for more effective water awareness campaigns during drought periods: A case study in Alicante, eastern Spain. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 963–972.
3. Ajayi, A.R. & Ugwu, C. C. (2008). Rainwater Harvesting for Agriculture and Domestic Supply in Enugu North Agricultural Zone, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 12(1). <https://doi.org/10.4314/jae.v12i1.47022>
4. Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L.N., Ghisi, E., Rahman, A. & Furumai, H. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Res.* 115, 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
5. Villar-Navascués, R., Pérez-Morales, A. & Gil-Guirado, S. (2020). Assessment of Rainwater Harvesting Potential from Roof Catchments through Clustering Analysis. *Water*. 12(9), 2623. <https://doi.org/10.3390/w12092623>
6. Метеорологічний архів Pokrovsk. <https://www.meteoblue.com>
7. Методичні рекомендації із забезпечення ефективного відведення поверхневих вод. Наказ Мінжитлокомунгосп України 23.12.2010 № 470 (рекомендації в галузі житлово-комунального господарства) (Україна). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0470738-10#Text>
8. Жук, В.М., Мальований, М.С., Мисак, І.В., Тимчук, І.С., Мушалла, Д. & Піхлер, М. (2021). Часова та просторова нерівномірність випадання дощів при моделюванні поверхневого стоку з урбанізованих територій. *Науковий вісник НЛТУ України*, 3(5), 67–73. <https://doi.org/10.36930/40310510>.
9. Kostenko, V., Zavialova, O., Chepak, O. & Pokalyuk, V. (2018). Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 12, 105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>
10. Вовк, Л.І. & Трофимчук, Ю.А. (2018). Порівняння об'ємів поверхневого стоку з типових мікрорайонів житлової забудови великих міст, визначених згідно з нормативними документами України. *Вісник національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва*, №904, 3–9.
11. Правила користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України. – К.: Мінжитлокомунгосп України, 2010. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0936-08#Text>
12. Arias, P.A., Bellouin, N. & Coppola, E. (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers. *Technical Summary*, 33–144.
13. Tavrel, M., Kostenko, V., Bohomaz, O., Kostenko, T., Zemlianskyi, O. & Pidhornyy, M. (2022). Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 177–187. <https://doi.org/10.12912/27197050/152114>
14. Kostenko, V., Tavrel, M., Bohomaz, O., Zavyalova, O., Kostenko, T., Myhalenko, K. & Kostyrka, O. (2022). Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 184–192. <https://doi.org/10.12912/27197050/147635>
15. Барабаш, О.Ю., Сич, З.Д. & Носко В.Л. (2008). Догляд за овочевими культурами. К. : Нововведення, 122 с.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2023 і прийнята до друку після рецензування 12.06.2023

REFERENCES

1. Carollo, M., Butera, I. & Revelli, R. (2022). Water savings and urban storm water management: Evaluation of the potentiality of rainwater harvesting systems from the building to the city scale. *Public Library of Science (PLoS)*, №17(11), e0278107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278107>
2. March, H., Hernández, M. & Saurí, D. (2015). Assessing domestic water use habits for more effective water awareness campaigns during drought periods: A case study in Alicante, eastern Spain. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 15, 963–972.
3. Ajayi, A.R. & Ugwu, C. C. (2008). Rainwater Harvesting for Agriculture and Domestic Supply in Enugu North Agricultural Zone, Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 12(1). <https://doi.org/10.4314/jae.v12i1.47022>
4. Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L.N., Ghisi, E., Rahman, A. & Furumai, H. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Res.* 115, 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
5. Villar-Navascués, R., Pérez-Morales, A. & Gil-Guirado, S. (2020). Assessment of Rainwater Harvesting Potential from Roof Catchments through Clustering Analysis. *Water*. 12(9), 2623. <https://doi.org/10.3390/w12092623>.
6. Meteorological archive Pokrovsk. Retrieved from <https://www.meteoblue.com> [in Ukrainian].
7. Methodical recommendations for ensuring effective removal of surface water. Order of the Ministry of Housing and Communal Affairs of Ukraine dated 23.12.2010 No. 470. (recommendations in the field of housing and communal services). Retrieved 30.05.2023 from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0470738-10#Text> [in Ukrainian].
8. Zhuk, V.M., Malyovany, M.S., Mysak, I.V., Tymchuk, I.S., Mushalla, D. & Pichler, M. (2021). Temporal and spatial unevenness of rainfall in modeling surface runoff from urbanized areas. *Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 3(5), 67–73 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36930/40310510>
9. Kostenko, V., Zavalova, O., Chepak, O. & Pokalyuk, V. (2018). Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 12, 105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>
10. Vovk, L.I. & Trofymchuk, Yu.A. (2018). Comparison of the volumes of surface runoff from typical residential microdistricts of large cities, determined in accordance with regulatory documents of Ukraine. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: Theory and practice of construction*, №904, 3–9 [in Ukrainian].
11. Rules for using systems of centralized communal water supply and drainage in populated areas of Ukraine. (2010). K.: Ministry of Housing and Municipalities of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0936-08#Text> [in Ukrainian].
12. Arias, P.A., Bellouin, N. & Coppola, E. (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers. *Technical Summary*, 33–144.
13. Tavrel, M., Kostenko, V., Bohomaz, O., Kostenko, T., Zemlianskiy, O. & Pidhornyy, M. (2022). Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 177–187. <https://doi.org/10.12912/27197050/152114>
14. Kostenko, V., Tavrel, M., Bohomaz, O., Zavyalova, O., Kostenko, T., Myhalenko, K. & Kostyrka, O. (2022). Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 184–192. <https://doi.org/10.12912/27197050/147635>
15. Barabash, O.Yu., Sych, Z.D. & Nosko, V.L. (2008). Care of vegetable crops. Kyiv: Innovation [in Ukrainian].

The article was received 23.02.2023 and was accepted after revision 12.06.2023

Богомаз Ольга Петрівна

PhD, доцент кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Адреса робоча: 43018, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8521-0394> **e-mail:** olha.bohomaz@donntu.edu.ua

Костенко Віктор Климентович

д.т.н., проф., завідувач кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Адреса робоча: 43018, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564> **e-mail:** vk.kostenko@gmail.com

Таврель Марина Ігорівна

асистент кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Адреса робоча: 43018, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7666-4554> **e-mail:** maryna.tavrel@donntu.edu.ua

Главатських Кристина Максимівна

студент ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Адреса робоча: 43018, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-9033-2764>

e-mail: krystyna.hlavatskykh.gf@donntu.edu.ua