

МОДЕЛЮВАННЯ, ІМІТАЦІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ Й УПРАВЛІННІ

УДК 911+504.567+332.12

Т. В. Біткова, Н. Л. Ричак, О. М. Гричаний

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

E-mail: bitkova@gmail.com, rychak@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6287-0392>

ВИКОРИСТАННЯ ДОЩОВОЇ ВОДИ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗЛИВОВИХ СТОКІВ: ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

У роботі розглянуто причини поглиблення сучасних проблем поводження зі стічними водами атмосферного походження та управління якістю поверхневих стоків у містах Європи та світу, проведено аналіз кліматичних та інших природних чинників, що впливають на оцінку перспектив впровадження проектів господарчого використання дощової води у конкретному місті (на прикладі Харкова), наведено результати дослідження навантаження на водні об'єкти, яке спричиняють стічні води атмосферного походження в межах урболандшафтної геосистеми, надана екологічна оцінка стану водного об'єкту.

Аналіз багаторічних статистичних даних та сучасної тематичної літератури свідчить про тенденцію до збільшення кількості опадів у європейських містах помірного та окремих містах тропічного клімату.

Для Харкова в останні 10 років характерна гранична нерівномірність опадів, як з точки зору помісячного об'єму опадів у теплому півріччі (травень-жовтень), так і щодо сумарної кількості дощових днів щомісяця і щосезону. Крім того, спостерігається зміна режиму опадів – зниження кількості дощів помірної інтенсивності і збільшення гроз, зливів, градів.

За сучасними методиками оцінено (з врахуванням проценту території міста зі щільним покриттям) об'єми поверхневого стоку у місті. За допомогою хімічного аналізу встановлено рівень якості поверхневих вод; визначено та надано оцінку навантаженню на водні об'єкти в результаті неорганізованого поверхневого стоку з урбанізованої території.

У роботі представлено огляд успішних міських проектів збирання, ретенції та використання дощової води з врахуванням джерел фінансування та обґрунтовано заходи та рекомендації щодо впровадження проектів блакитної економіки в умовах конкретного міста.

Ключові слова: блакитна економіка, управління якістю поверхневих вод атмосферного походження, урболандшафтна басейнова геосистема, екологічне навантаження.

JEL Classification: Q25; C10; C93.

T. V. Bitkova, N.L.Rychak, O.M. Hrychany

V.N. Karazin Kharkiv National University

4 Svobody Sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

E-mail: bitkova@gmail.com, rychak@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6287-0392>

USE OF RAINWATER IN URBAN AREAS AND STORM WATER RUN-OFF QUALITY MANAGEMENT: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS

The paper considers the reasons for deepening current problems of the surface waters and control of surface wastewater quality in the cities of Europe and the world; the analysis of climatic and other natural factors affecting the assessment of the feasibility of rainwater management projects in a particular city (by the case of Kharkiv) is carried out; the results of the study on the pressure on water bodies brought by the surface waters within the urban landscape geo-system are provided; ecological assessment of the water body is made.

The analysis of long-term statistical data and review of the current literature on the subject indicates that there is a trend towards the increase in precipitation in European cities with a moderate climate and in some cities with a tropical one.

Over the last 10 years extreme erratic intensity of rainfall, both in terms of monthly precipitation in the warm half-year (May–October), and in the total monthly and seasonal number of rainy days has become typical for Kharkiv. Moreover, there is a change in the precipitation patterns – a decrease in the number of moderate rains and an increase of thunderstorms, showers and hail.

Applying modern methods, the amount of surface water in the city is estimated, taking into account the percentage of the city's territory densely covered with water. The quality of surface waters is determined by means of chemical analysis; the pressure on water bodies through unorganized surface run-off surface runoff from the urban territory is determined and assessed.

The article presents an overview of successful urban projects of rainwater harvesting, its retention and practical usage, taking into account the sources of financing and offers measures and recommendations on implementing blue economy projects in the conditions of some particular city.

Key words: blue economy, quality control of surface waters of atmospheric origin, urban-landscape basin geosystem, ecological load.

JEL Classification: Q25; C10; C93.

Т. В. Биткова, Н. Л. Рычак, О. М. Гричаный

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, 61022, Харьков, Украина

E-mail: bitkova@gmail.com, rychak@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6287-0392>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ В ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ: ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В работе рассмотрены причины углубления современных проблем обращения со сточными водами атмосферного происхождения и управления качеством поверхностных стоков в городах Европы и мира, проведен анализ климатических и других природных факторов, влияющих на оценку перспектив реализации проектов хозяйственного использования дождевой воды в конкретном городе (на примере Харькова), приведены результаты исследования нагрузки на водные объекты, оказываемой сточными водами атмосферного происхождения в пределах урболандшафтной геосистемы, предоставлена экологическая оценка состояния водного объекта.

Анализ многолетних статистических данных и современной тематической литературы свидетельствует о тенденции к увеличению количества осадков в европейских городах умеренного и отдельных городах тропического климата.

Для Харькова в последние 10 лет характерна предельная неравномерность осадков, как с точки зрения месячного объема осадков в теплом полугодии (май-октябрь), так и по суммарному ежемесячному и посезонному количеству дождливых дней. Кроме того, наблюдается изменение режима осадков – снижение количества дождей умеренной интенсивности и увеличение гроз, ливней, града.

По современным методикам оценен (с учетом процента территории города с водонепроницаемым покрытием) объем поверхностного стока в городе. С помощью химического анализа определен уровень качества поверхностных вод; установлена и оценена нагрузка на водные объекты в результате неорганизованного поверхностного стока с урбанизированной территории.

В работе представлен обзор успешных городских проектов сбора, ретенции и использования дождевой воды с учетом источников финансирования и обоснованы мероприятия и рекомендации по внедрению проектов голубой экономики в условиях конкретного города.

Ключевые слова: голубая экономика, управление качеством поверхностных вод атмосферного происхождения, урболандшафтная бассейновая геосистема, экологическая нагрузка.

JEL Classification: Q25; C10; C93.

Постановка проблеми. На даний час поведження з дощовою водою та особливо зі стічними водами атмосферного походження стає однією з актуальних проблем в контексті ефективного управління водними ресурсами міст і вимагає мультидисциплінарного підходу і оцінки – з екологічної, технологічної, економічної, соціальної, господарсько-управлінської та законодавчої позицій. Першочергово, дощова вода сприяє регулюванню мікроклімату міста, природно зволожує ґрунт, живить рослини, та має ще цілу низку функцій, у тому числі очищення повітря і поверхні міста від забруднень тощо. Проте, дощова вода може спричинити і значні збитки – як у випадку її надлишку, який є причиною повеней, так і у випадку її нестачі в містах з обмеженими водними ресурсами. Дощова вода може використовуватися для різноманітних технічних і побутових потреб, що підкреслює її цінність як природного ресурсу.

Вже багато міст у різних частинах світу успішно реалізують різномасштабні проекти управління дощовою водою (*rainwater management*), які в цілому спираються на схожий комплекс базових ідей. Однак, кожне місто характеризується унікальним поєднанням географічних, екологічних й антропологічних чинників, які обумовлюють низку проблем, специфічних саме для цієї урбанізованої території. Для Харкова ключовою проблемою на шляху реалізації проектів поводження з дощовою водою є відсутність інфраструктури збирання і ретенції води під час інтенсивних атмосферних опадів, що часом веде до критичних навантажень на водні об'єкти урболандшафтних басейнових геосистем. Вагомою причиною забруднення водних об'єктів виступає неорганізований поверхневий стік з урбанізованої території. Ця проблема залишається сьогодні важливою як з екологічної, так і з економічної точки зору, оскільки нерозривно пов'язана з витратами на очищення зливових стоків і з запобіганням негативному впливу на екосистему річок та водойм, а саме зниженню якісного потенціалу цих об'єктів. За даними Державного агентства водних ресурсів України кількість забруднених стоків, що потрапляють до басейнових геосистем м. Харкова без очистки, складає у середньому до 718,73 млн. м³ на рік (Національна доповідь, 2015).

Таким чином, всебічна оцінка перспектив реалізації принципів блакитної економіки в конкретному місті передбачає комплексний аналіз чинників, пов'язаних з управлінням дощовою водою, переваг і загроз, а також порівняння затрат і ефективності при фінансуванні відповідних проектів, а також визначення його можливих джерел.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми управління дощовою водою в місті, підходи до оцінки причин і наслідків забруднення водних складових в урболандшафтних геосистемах, досвід впровадження проектів зеленої та блакитної економіки висвітлено в роботах багатьох вітчизняних і закордонних науковців. В останні роки спостерігається зростання масиву наукових публікацій, присвячених цій тематиці. Це пов'язано насамперед зі змінами клімату та все частішими та масштабнішими негативними наслідками повеней, викликаних тривалими та інтенсивними дощами у містах, у т.ч. зі збільшенням економічних втрат.

Цю динаміку можна виразно показати на прикладі сусідньої Польщі. Зокрема, за останні п'ять років з'явилося багато публікацій польських науковців, присвячених загальним проблемам господарського використання дощової води та фінансовим аспектам управління даним ресурсом, – наприклад, роботи К. Росек (Rosek, 2017), Е. Войчеховської, М. Гаєвської К., К. Матей-Лукович (Wojciehowska et al, 2016), Е. і А. Круликовських (Królikowska et al, 2012), Е. Буршти-Адамяк (Burszta-Adamiak, 2014) та ін. Відповідні дослідження проводяться на базі Гданьської Політехніки, Природознавчого університету у Вроцлаві, Економічного університету в Кракові та ін.

Аналізу та моделюванню урболандшафтних басейнових геосистем, моделюванню і сталому управлінню збиранням дощової води та моделюванню пловіальних повеней в європейських містах присвячено, відповідно, роботи В.М. Самойленко і К.О. Верес (Самойленко & Верес, 2007), дисертацію Т.М. Пінзона (Pinzón, 2012) та зовсім недавно роботу С.Б. Гуерейро, В. Гленіса, Р. Давидсона і С. Килсбі (Guerreiro et al., 2017).

Аналізу стану основних водних ресурсів урболандшафтної басейнової геосистеми р. Харкова та дослідженню впливу дощового стоку з урбанізованих територій на забруднення водних об'єктів міста присвячено роботи О.В. Мостепана (Мостепан, 2010), В.О. Юрченко (Юрченко та ін., 2012), Н. Л. Ричак, В. М. Московкіна (Ричак та ін., 2015), (Moskovkin, 2016), Е.Н. Серикової, Е.А. Стрельникової (Серикова & Стрельникова, 2016) та ін. У роботах цих авторів, зокрема, відзначається, що причинами погіршення якості води у водних об'єктах є незбалансоване водоспоживання та водокористування, а також лише частково упорядкований поверхневий стік з урбанізованої території. Внаслідок недостатньої потужності мереж дощової каналізації поверхневий стік є різко змінним у часі за кількісними та якісними характеристиками, а стічні води переважно характеризуються підвищеним вмістом зважених речовин, нітратів, сульфатів, хлоридів.

Треба вказати, що іноземні публікації відзначені досить високим рівнем теоретичного узагальнення, про що свідчать наявність наукових монографій, присвячених проблемам управління дощовою водою на урбанізованих територіях. У той же час у вітчизняному науковому просторі здебільшого є лише вузько спеціалізовані роботи вчених географів і екологів. Дана стаття містить результати пілотного міждисциплінарного дослідження, у якому

автори намагаються висвітлити повний комплекс проблем, пов'язаних з реалізацією проектів використання дощової води у конкретному місті.

Мета статті, завдання та методологія дослідження. Метою статті є визначення можливостей та оцінка перспектив використання технологій управління дощовою водою в умовах міста Харкова з урахуванням кліматичних та антропогенних чинників, характерних для урболандшафтною геосистеми міста.

Основні завдання дослідження: огляд функцій використання, оцінка значення дощової води як ресурсу на урбанізованих територіях та визначення основних причин зростання проблем, пов'язаних з дощовою водою; дослідження динаміки атмосферних опадів і їх інтенсивності у м. Харкові; оцінка та екологічного навантаження на водні об'єкти, яке спричиняють стічні води атмосферного походження в умовах урболандшафтною геосистеми м. Харкова та відповідних екологічних збитків; узагальнення досвіду реалізації успішних проектів управління використанням дощової води на урбанізованих територіях та фінансових механізмів, що забезпечили названі успіхи.

Методи дослідження: системний міждисциплінарний підхід, методи статистичного та кореляційного аналізу; польові методи (ландшафтно-екологічний з використанням топографічних карт; ландшафтно-геохімічний; камерально-аналітичний); лабораторні хіміко-аналітичні методи.

У роботі використано фактичні дані, які власноруч отримано авторами впродовж 2013-2016 рр., та частково у 2017 р., а також офіційні дані спостережень за погодою у Харкові за останні 10 років.

Основні результати дослідження.

Функції та значення дощової води на урбанізованій території й основні проблеми, пов'язані з дощовою водою.

Як зазначається в (Rosek, 2017), функції води в місті можна аналізувати з позицій концепції «послуг екосистем» (*ecosystem services*), конкурентних потреб різних споживачів або через призму користі та загроз. У першому випадку можна виділити функції: постачання (життєзабезпечення, доставка питної води, вода для виробничих потреб і екосистем і т.п.); регулятивну; підтримки популяцій; культурну (естетика простору, рекреація, освіта, позитивний вплив на здоров'я); економічну (підвищення вартості нерухомості; частка витрат на воду в структурі комунальних платежів і виробничих витрат і т.д.).

З боку оперування ресурсом дощової води найбільше значення має регулятивна функція, яка включає: регулювання гідрологічних потоків, ретенцію атмосферної води; збір і знешкодження зливових стоків (в рамках можливостей екосистем); біологічний контроль; змив поверхневих забруднень на території міста; очищення води за рахунок ґрунтової фільтрації; очищення повітря (видалення пилу, зниження температури); збагачення повітря і ґрунту вологою; стимуляція конвекції повітряних потоків; уловлювання вуглецю та ін.

Другий підхід, пов'язаний з аналізом конкурентного споживання, більшою мірою стосується водних ресурсів та тиску на них, і меншою – самої дощової води, хоча нестача опадів впливає на доступність води. У цьому випадку основним завданням є забезпечення необхідного обсягу водних ресурсів для потреб сільського господарства, енергетики, промисловості, життєдіяльності населення, – без надмірного тиску на екосистеми. Системний архетип «Трагедія спільного ресурсу» (Сенге, 2003) наочно ілюструє той факт, що відсутність співпраці між конкурентними споживачами загрожує серйозними порушеннями водного балансу в екосистемах. Ідея подібного співробітництва, проте, далеко не завжди реалізується на практиці. У (Rosek, 2017, с. 64) як приклад конфліктів, пов'язаних із дощовою водою, наводиться практика водовідведення від доріг, у тому числі від нових швидкісних трас.

Третій фокус розгляду функцій дощової води на урбанізованих територіях – це користі та загрози. Користі тут є досить очевидними – забезпечення водою, поліпшення якості життя, мікроклімату, естетики. З іншого боку, з'являються загрози підтоплення або навіть затоплення міських територій, прискорення поверхневого стоку, забруднення ґрунту і зростання екологічного навантаження на водні об'єкти, з усіма відповідними наслідками.

В умовах історичних урбанізованих територій, коли переселення людей з небезпечних ділянок являє зрозумілі труднощі (може йтися тільки про заборону нового будівництва на проблемних ділянках), реальними способами запобігання загрозам затоплень і їх негативних наслідків є відведення води від забудови або об'єктів інфраструктури та/або стійке інтегроване

управління водними ресурсами. Перший підхід пов'язаний зі зведенням коштовних штучних споруд, які на практиці часто виявляються неефективними.

Другий підхід реалізує більш широкий погляд на воду в контексті загального водозбору та сукупності антропогенних і природних процесів (у тому числі кліматичних), тобто враховує системи водовідведення та водосховищ, геологічну структуру, інтенсивність опадів, а також спосіб регулювання в басейні (а отже й процеси урбанізації). При такому підході питання управління водою атмосферного походження та її використання стає надзвичайно актуальним, причому акцент робиться на природних процесах: інфільтрації, ретенції, випаровуванні, – тобто на зеленій і блакитній інфраструктурі (Communication form, 2013).

Проблеми з дощовою водою в містах обумовлені як природними, так і антропогенними причинами.

У сенсі природних причин йдеться насамперед про співвідношення інтенсивності та тривалості опадів. За середньою кількістю дощових днів протягом року перші місця в Європі займають міста Великої Британії – Глазго (170 днів) і Лідс (154 дня). За середньорічною кількістю опадів лідирують Подгориця (1661 мм/рік), Любляна (1368 мм/рік) і Тирана (1219 мм/рік). Для порівняння, у Харкові ці показники становлять відповідно 104 дні і 515 мм/рік.

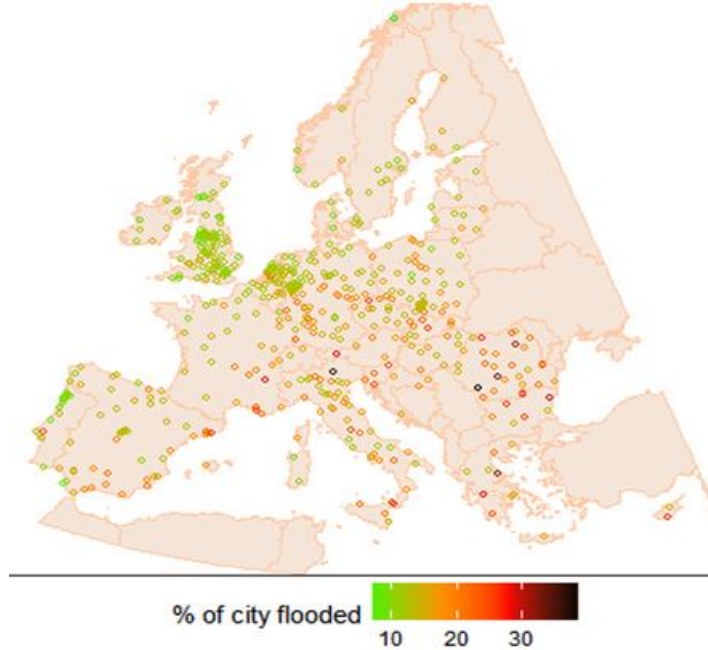


Рис.1. Кластеризація європейських міст за відсотком затоплених територій за 10-річний період спостережень (з урахуванням даних про інтенсивність опадів – мм/год. – у ході природної події, що викликало повінь)

Джерело: (Guerreiro et al., 2017)

На рис. 1 показано розподіл європейських міст за інтенсивністю їх затоплення (за підсумками 10-річних спостережень) – тобто за відсотком території кожного міста, з тих, що постраждали внаслідок окремо взятих затоплень, обумовлених тривалими інтенсивними дощами.

Антропогенні чинники перш за все пов'язані з процесами урбанізації і відсотком площі з водонепроникним покриттям. За оцінками (Wojciechowska et al., 2016, s. 27-28) 75-100% стоку дощової води на урбанізованій території обумовлено на 30% евапотранспірацією, на 55% – поверхневим стоком, на 10% – підземним стоком і на 5% – інфільтрацією. Для порівняння – на природних територіях ці цифри становлять, відповідно, 40%, 10%, 25% і 25%, тобто поверхневий стік становить тільки 10%.

Так, частка площі Харкова з водонепроникним покриттям (оцінка) становить 27%, у тому числі проїжджі частини і тротуари – 4,5%, автостоянки та гаражі – 2,5%, багатоповерхове

житло – 2,5%, садибна забудова – 10,5%, промислові та складські території – 7% (загальна площа міста без урахування останніх розширень за рахунок 50 км² земель сільськогосподарського призначення складає 303 км²).

Збільшення площ водонепроникного покриття в містах призводить до ряду прямих і опосередкованих наслідків, у т.ч. таких, що виходять за рамки екосистем. До прямих наслідків належать обсяг і швидкість стоку дощової води, перевантаження каналізаційних мереж і очисних споруд, підвищення ризику повеней та підтоплень, пониження рівня ґрунтових вод. До цього переліку, безумовно, необхідно додати зростання екологічного навантаження на водні об'єкти.

До опосередкованих загроз відносяться погіршення мікроклімату, посилення ефекту островів тепла і островів смогу, деградація природного середовища та ландшафту міста, нарешті, загальний вплив на зниження якості життя міського населення.

Серед економічних наслідків можна назвати: збільшення використання енергії на кліматизацію будинків; збільшення використання водопровідної води для поливу вулиць і зелених насаджень; витрати, пов'язані з перевантаженням очисних споруд; збитки від повеней і підтоплень території.

Оцінка потенціалу вод атмосферного походження. Опади та їх інтенсивність у м. Харкові.

Щоб оцінити вигоди і загрози, а також перспективи впровадження сталого управління дощовою водою на території конкретного міста необхідно проаналізувати, перш за все, характерні для нього природні (кліматичні) і антропогенні чинники.

Основні чинники, що впливають на сумарну кількість дощової води – це тривалість, частота (ймовірність) дощів, а також їх інтенсивність та охоплення території. Аналіз наслідків атмосферних опадів повинен проводитися з урахуванням благоустрою та господарського освоєння міської території.

Аналіз статистичних даних про опади в Харкові в теплому півріччі (травень-жовтень) за останні 10 років дозволяє дійти низки важливих висновків щодо потенціалу використання дощової води.

Таблиця 1

**Сумарна кількість опадів (мм.) у Харкові (травень-жовтень),
число дощових днів і максимальні опади в сезоні протягом дня
за даними 10-річних спостережень**

Місяці	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	М.о.	Дисп.
Травень	51	35	46	28	48	41	55	34	148	37	52,3	1201,3
Червень	43	44	20	122	33	38	137	72	54	17	58	1680,0
Липень	47	60	62	131	19	84	41	107	92	38	68,1	1210,3
Серпень	30	9	16	11	89	51	46	2	63	11	32,8	814,6
Вересень	39	23	119	13	9	122	36	7	14	24	40,6	1886,5
Жовтень	24	46	81	27	117	49	16	5	45	50	46	1079,8
Опади за сезон	234	217	344	332	315	385	331	227	416	177	297,8	
Кількість дощових днів	41	58	54	49	51	64	43	45	53	49	50,7	
Макс. опади/день	28	22	52	43	38	30,4	30	46	42	19		

Джерело: авторська розробка на базі даних (Монітор погоди...)

Дані, наведені в таблиці 1, свідчать про крайню нерівномірність сезонних опадів на території Харкова – див. також рис. 2-6.

Оцінки математичних очікувань і дисперсій (рис. 3, 4) в перетинах погодного випадкового процесу (середньомісячні значення і дисперсії, обчислені для кожного року спостережень за період з травня по жовтень) підтверджують, що ми маємо справу з класичним нестационарним випадковим процесом.

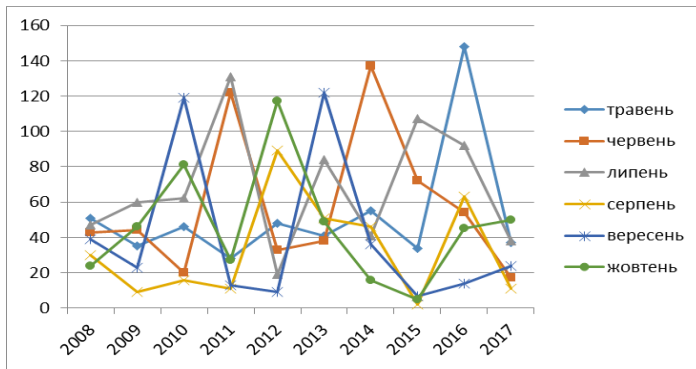


Рис. 2. Динаміка сумарних помісячних опадів (мм) у Харкові в 2008-2017 гг.

Джерело: авторська розробка

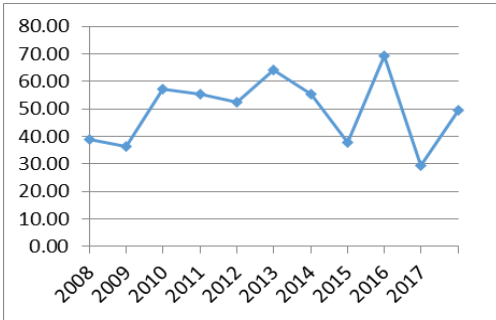


Рис. 3. Функція математичного очікування середньомісячних опадів в травні-жовтні

Джерело: авторська розробка з використанням даних (Монітор погоди, 2018)

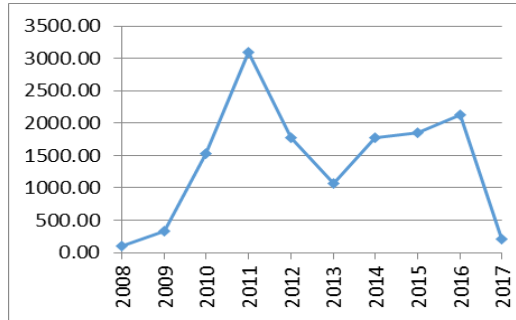


Рис. 4. Функція дисперсії середньомісячних опадів в травні-жовтні

Цікаво порівняти динаміку сумарних опадів (рис. 5) з динамікою загальної кількості дощових днів в теплому півріччі (рис. 6). Досить очевидна невисока кореляція між цими показниками, що підтверджується значенням коефіцієнта кореляції – він дорівнює 0,578.

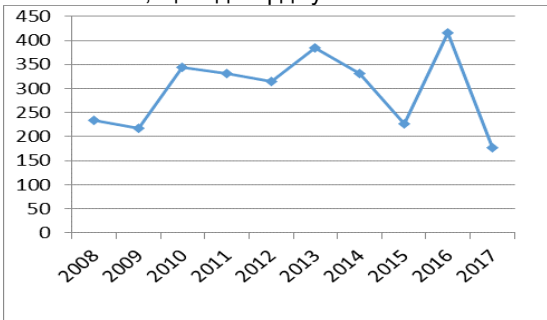


Рис. 5. Динаміка сумарних опадів (мм) в Харкові в травні-жовтні

Джерело: авторська розробка з використанням даних (Монітор погоди, 2018)

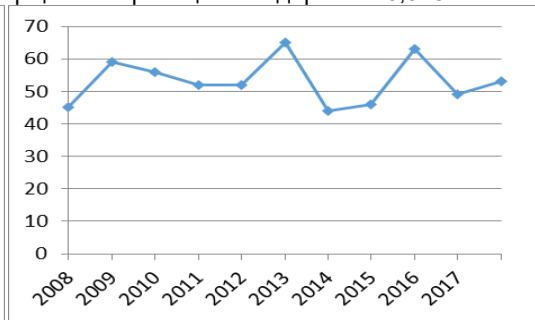


Рис. 6. Сумарна кількість дощових днів в Харкові в травні-жовтні

Це означає, що для Харкова характерні посушливі періоди (наприклад, в 50% серпневих спостережень за останні 10 років і в 40% вересневих спостережень кількість дощових днів становила від 1 до 5), які чергуються з періодами порівняно інтенсивних опадів.

У таблиці 2 показано розподіл загальної кількості помісячних спостережень у 2008-2017 рр. по відношенню до відповідних місячних норм опадів. З імовірністю 75% сумарні місячні опади у Харкові лежать в межах від 50 до 100% місячної норми, причому з імовірністю 0,43 не

перевищують 70% норми. У той же час, з імовірністю 0,35 сумарні опади перевищують 100% норми, з них в половині випадків (з ймовірністю 0,15) – 200% місячної норми. Рекордним за останні 10 років був травень 2016 року, коли опади склали 296% місячної норми.

Таблиця 2

Розподіл спостережень стосовно місячної норми опадів

Інтервали значень	менше 30%	30-70%	70-100%	більше 100%
Імовірність	0,20	0,23	0,22	0,35

Джерело: авторська розробка з використанням даних (Монітор погоди, 2018)

Крім того, за період, що розглядається, у Харкові тричі спостерігалися випадки, коли опади, що випали протягом доби, практично дорівнювали або перевищували місячну норму (наприклад, 21.09.2010, 29.08.2011, 28.05.2016). Саме подібний грозовий день 29.06.1995 р. в поєднанні в антропогенними чинниками став причиною найбільшої, унікальної у світовій практиці аварії на Диканівських очисних спорудах, що призвела до важких екологічних наслідків і залишила 1,5-мільйонне місто майже на місяць без води у 35-градусну спеку. Відновлювальні роботи на Диканівці тривали 10 років і обійшлися у 140 млн. грн.

Нижче наведено три групи висновків проведеного аналізу, які можна зробити з позицій стійкої блакитної економіки і перспектив впровадження ефективних технологій поводження з дощовою водою на території Харкова.

По-перше, з урахуванням наведених вище оцінок – площі міста з водонепроникним покриттям та частки поверхневого стоку дощової води з урбанізованих територій, за приблизними оцінками в середньому за теплий сезон (травень-жовтень) поверхневий стік в Харкові становить 1340 млн. т. дощової води (тобто 1,34 млн. м³). У рекордному 2016 році цей стік становив близько двох млн. кубометрів води. Звичайно, ці оцінки потребують уточнення з урахуванням детальної інформації за даними щоденних спостережень про реальні площі ділянок, де трапилися атмосферні опади. Це практично чиста вода, придатна для технічного і побутового використання за умови її організованого збору і розподілу. На даний час переважна її частина потрапляє в зливову каналізацію, зазнаючи сильного забруднення під час пришвидшеного стоку.

По-друге, прискорений стік дощової води з водонепроникної поверхні міста і періодичні критичні обсяги скидів дощової води обумовлюють пікові навантаження на зливову каналізацію і зростання екологічного навантаження на водні об'єкти. Під час згаданої вище аварії на Диканівських очисних спорудах і її ліквідації, річки міста Лопань, Уди і Харків взяли весь удар на себе, фактично перетворившись на відстійники, що призвело до катастрофічного погіршення бактеріологічних показників. В результаті ліквідації наслідків аварії на Диканівській очисній станції було введено новий очисний блок, поширено систему біологічного захисту, перепроектовано систему вентиляції, підведено додаткове електропостачання та збудовано дублюючий колектор, що дозволяє регулювати пікові навантаження та знижує загрозу затоплення. Однак ці заходи не вирішують проблеми екологічного навантаження на водні об'єкти під час неконтрольованих скидів дощової води.

По-третє, зазначена характерна для Харкова нерівномірність опадів у теплому півріччі і тенденція до її посилення в останні роки загострюють проблему екологічного навантаження на водні об'єкти в зв'язку з тим, що під час тривалих посушливих періодів, за відсутності регулярного вологого прибирання вулиць на урбанізованій території різко зростає концентрація шкідливих речовин, що в подальшому створює загрозу сплесків екологічного навантаження, обумовленого підвищеним забрудненням стічних вод атмосферного походження.

З урахуванням вищесказаного, для оцінки доцільності та перспектив впровадження сучасних технологій управління поводження з дощовою водою на території Харкова з точки зору співвідношення витрат й ефективності, крім отриманої вище оцінки середніх за теплий сезон об'ємів дощової води, яку можна використовувати на потреби міста, необхідно також оцінити екологічні втрати і навантаження на водні об'єкти внаслідок стоку дощової води, проаналізувати світовий досвід реалізації міських проектів управління поводження з дощовою водою (в умовах як її надлишку, так і нестачі) та відповідні фінансові механізми втілення подібних проектів.

Оцінка екологічного збитку та екологічного навантаження на водні об'єкти, яке спричиняють стічні води атмосферного походження в умовах урболандшафтної геосистеми м. Харкова.

Дослідження екологічного збитку від поверхневих вод атмосферного походження на території міста Харкова почалися ще у 1970-і рр. Пізнішими дослідженнями було, зокрема, встановлено збільшення маси дорожнього змету на території міста, пов'язаного з різким збільшенням кількості транспортних засобів, руйнуванням дорожнього покриття та стиранням автомобільних шин.

У дослідженнях екологів Каразінського університету 2013-2015 та 2014-2017 рр., дано оцінку еколого-економічного збитку від забруднення природних вод поверхневим стоком з урбанізованої території Харкова та можливих втрат при незбалансованому використанні дощової води (на прикладі басейнової геосистеми річок Уд та Харкова).

Результати досліджень 2013-2015 рр. (Ричак і ін., 2015, 2016) щодо концентрації забруднюючих речовин з використанням атомно-абсорбційної спектроскопії та фотометричного методу проводилися на базі відібраних проб поверхневих вод атмосферного походження на восьми репрезентативних ділянках і свідчать про наступне:

- вміст речовин безпосередньо залежить від антропогенних чинників;
- показники рН високі, особливо на території з більш високою щільністю населення та поблизу автошляхів;
- зафіксовано високі показники забруднення поверхневих вод зваженими речовинами та важкими металами, які залежать від таких чинників, як характер благоустрою і типи поверхонь, рівень забруднення водозбору, стан якості атмосферного повітря, інтенсивність руху транспорту та ін.

На рис. 7 показано екстраполяцію лінійних трендів річного обсягу зважених речовин, нафтопродуктів, біохімічного споживання кисню (БСК₅) та хімічного споживання кисню (ХСК) за результатами дослідження екосистеми річки Уди. Очевидно, що за останні 40 років перші два показники змінилися у 8-9 разів, а останні два – у 3,5 рази.

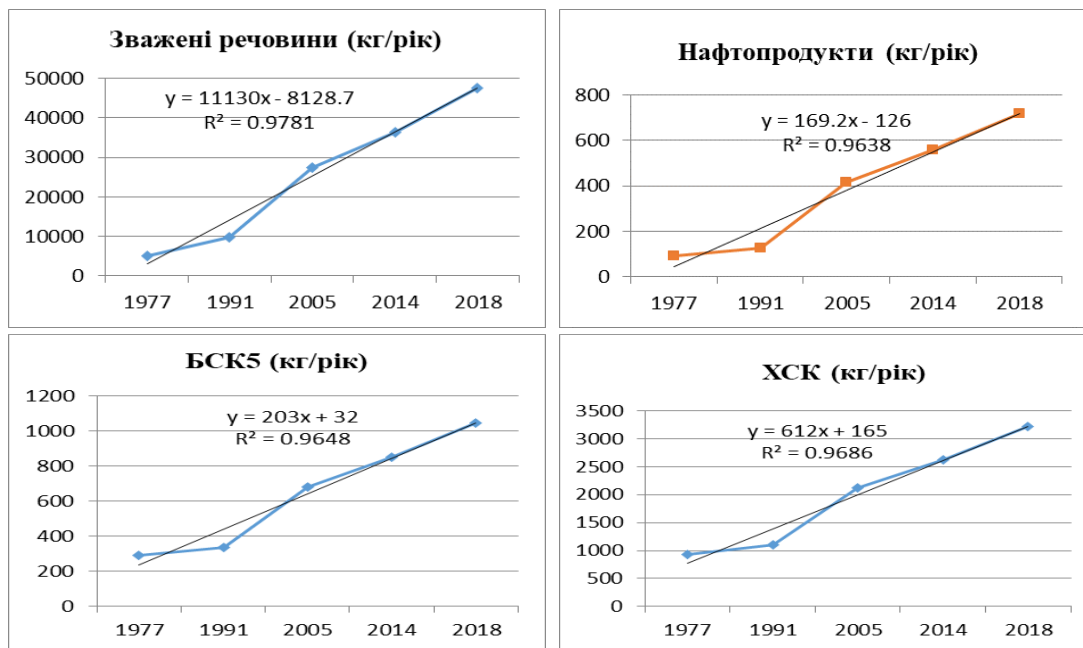


Рис. 7. Екстраполяція лінійних трендів річного обсягу основних видів забруднень

Джерело: авторська розробка

Дослідження 2014–2017 рр. стану поверхневих вод та зливово-талого стоку екосистем річок Харкова та Уд виявили наступне:

- сольовий склад поверхневих вод указує на можливість розвитку тенденцій щодо процесу засолення річкових вод, що є вкрай небезпечним для екосистем прісних водотоків;
 - електропровідність зазвичай знижується під час дощу; значення питомої електропровідності у р. Харкові після літніх дощів спочатку знижується, а потім різко підвищується, – це пояснюється підвищенням температури, яке призводить до зменшення в'язкості води і збільшення ступеню її дисоціації;
 - прозорість води знижується за течією річки, а також зразу після дощу; кількості завислих речовин указує на прямо пропорційну залежність їх вмісту від умов урболандшафтних басейнових геосистем;
 - вміст амонію досить мінливий, як за течією річки, так і за сезонами; низький вміст спостерігається у літку і восени вздовж усієї течії річок;
 - вміст азотовмісних сполук спостерігається вздовж усієї течії річок у межах урбосистеми, тому що річка виступає «приймачем» стічних вод та змиву забруднюючих речовин поверхнево-схиливим стоком з урболандшафтної басейнової геосистеми;
 - вміст нітрит-іону збільшується у гирлі річки, що свідчить про навантаження на воду річки стічними водами та затримку окислення «NO₂⁻ до NO₃⁻» та загалом про мінливе забруднення водойми;
 - збільшення вмісту фосфатів (в середньому від 0,002 до 0,04 мг/дм³ та до 1,1 мг/дм³) за течією р. Харків в умовах урбосистеми; протягом літніх дощів кількість фосфатів нижча, але, як виявляється, умови, створені у водному об'єкті, сприятливі для процесу евтрофікації;
 - вміст БСК₅ у природних водах знаходиться в межах від 1,0 до 6,0 мгО₂/дм³; у різні сезони спостерігаються коливання і високі значення показників БСК₅, що пояснюється не тільки антропогенними чинниками, але й чинниками абіотичними (підвищенням температури і концентрацією кисню у воді) та біотичними (інтенсивністю процесів фотосинтезу і деструкцією органічних речовин);
 - показники перманганатної окисності у водах р. Харкова коливаються в широких межах від 8 до 12 мгО₂/дм³; окисність забруднених поверхневих вод змінюється протягом року, проте у цілому спостерігаються підвищені значення показника;
 - у стічних водах дощового походження вміст розчинених форм важких металів – Кадмію, Нікелю, Купруму, Плюмбуму, Цинку, Феруму, Хрому (6+) та нафтопродуктів – практично у двічі нижчий, ніж у талій воді;
 - Медіанні концентрації Цинку у поверхневих водах знаходяться в межах 0,001 мг/дм³ – 0,004 мг/дм³; ці значення вкрай низькі для річкових вод, що негативно впливає на нормальний ріст і розвиток організмів у водній екосистемі;
 - вміст Купруму у поверхневих водах річки підвищений – від 1,1 мкг/дм³ до 2 мкг/дм³;
 - вміст Плюмбуму у воді характеризується особливою мінливістю; медіанне значення Плюмбуму у поверхневих водах від 0,18 мкг/дм³ до 2,5 мкг/дм³; головною причиною потраплення Плюмбуму у поверхневі води є транспортна функціональна підсистема міста та, безпосередньо, застосування тетраетилу свинцю у якості антидетонатора у моторному паливі; виявлений невисокий вміст Плюмбуму є результатом природної адсорбції його зваженими речовинами та осаду у донні відклади, та можливо, також, накопичення елемента гідробіонтами;
 - вміст Кадмію у поверхневих водах складає 0,1 мкг/дм³; токсичність цього елемента особливо небезпечна у взаємодії з іншими токсичними речовинами;
 - вміст Нікелю у поверхневих водах підвищений; медіанне значення – 3-10 мкг/дм³; max значення – 14 мкг/дм³ – характерне для літнього відбору проб води, тому що в літній період підвищується значення кисневого показника;
 - значення Феруму (70-100 мкг/дм³) перевищують показники ГДК_v у 2 рази;
 - вміст Хрому (6+) у поверхневих водах складає в середньому 0,0001 мг/дм³; у стічних водах вміст елемента знаходиться в межах 0,001 – 0,005 мг/дм³.
- У цілому спостерігається складний та мінливий кількісний гідрохімічний склад води у річці. Пріоритетні елементи і сполуки, що є головними забруднювачами природних вод в умовах урбосистеми, це Ферум, Нікель, Купрум, хлориди та сульфати.

Успішна практика управління дощовою водою на урбанізованих територіях та можливі джерела фінансування проектів блакитної економіки.

Серед успішних проектів сталого управління поведження дощовою водою в містах, що реалізуються з кінця 1990-х рр., слід серед інших виділити наступні (Dobre praktyki..., 2014; Burszta-Adamiak, 2014):

- «Людина-Природа-Технологія» – проект сталого управління дощовою водою в житловому районі Кронсберг (Ганновер, Німеччина, 1997-2000). Щорічна економія – близько 550 м³ води. Загальна вартість забудови та облаштування території в 1997-2000 рр. – 500 млн. EUR;

- Парк Хаутан (Шанхай, Китай, 2007-2010) – проект облаштування натуральної заливної території зі створенням лінійної інфраструктури для очищення води річки Хуанпу виключно за рахунок природних технологій (вісім з них запатентовано): спеціальних видів рослин, терас, каскадів і колекторів, що затримують забруднення техногенного походження, очищають і аерують воду. Економія в порівнянні з використанням традиційних технологій очищення становить 145 тис. USD на рік. Бюджет проекту – 15,7 млн. USD; відповідальні за реалізацію – компанії Turenscape і Shanghai Landscape Construction Company та Шанхайський університет океанографії.

- Система збору води з дахів (Варнамбул, Австралія, 2010-2011) – інфраструктурний проект збору і очищення дощової води (до стандартів питної) з дахів 130 будинків, розташованих на 260 ділянках, що дозволяє збирати близько 16 млн. літрів води на рік – обсяг, рівний використаній питній воді. Вартість інвестицій – 3,8 млн. USD; відповідальний за реалізацію – фірма Wannon Water (у співпраці з центральним урядом і органами місцевого самоврядування);

- «Зелене місто, чиста вода» – “Green City, Clean Water” (Філадельфія, США, з 2011 р.) – проект створення інфраструктури для перехоплення атмосферної води, що сприяє відтворенню природного середовища і включає зелені вулиці, зелені школи, відкриті зелені громадські простори. Бюджет проекту на 25 років – 2 млрд. USD; відповідальний за реалізацію – Philadelphia Water Department;

- Збір атмосферної води в житловому районі Фітцгіббон (Квінсленд, Австралія, 2009-2014) – проект збору дощової води (минаючи міську каналізацію) на ділянці в 290 га з перекачуванням через відстійники в лагуну, яка вміщає 5000 м³ води. Перехоплення і ретенція води становить близько 10% річного стоку дощової води. Вода проходить складне багатофазне очищення з подальшою обробкою UV і хлоруванням. Об'єм інвестицій – 17 млн. AUD; відповідальні за реалізацію – Urban Development Authority і Queensland Water Commission;

- Управління дощовою водою на території промислових об'єктів (Кінгстон, Австралія, 2008-2013) – проект ревіталізації та перепроєктування трьох вулиць, що дозволяє перехоплювати до 4000 м³ води на рік за рахунок двох дощових колекторів, 54 інфільтраційних ровів уздовж доріг, заміни частини покриттів доріг і паркінгів на водопроникні. Об'єм інвестицій – 2,8 млн. AUD; відповідальний за реалізацію – міська влада м. Кінгстона;

- Децентралізована система управління дощовою водою в районі Гольграбенекер, (Штутгарт, Німеччина, с 2003) – проект обов'язкового облаштування зелених дахів у місцях щільної забудови а там, де зелені дахи не обов'язкові – підземних ємностей; а також водопроникних поверхонь і нової зливової каналізації в громадських місцях. Обсяг інвестицій до 2014 г. – 0,5 млн. EUR; відповідальний за реалізацію – громада м. Штутгарта.

- Стійка система відведення дощової води у передмісті Аугустенборг (Мальме, Швеція, 1998-2014) – проект створення відкритої системи зливової каналізації, що включає рови, ставки і ділянки підтоплення, облаштування зелених дахів і першого в світі ботанічного саду на даху. Система затримує близько 70% загального обсягу дощової води на території в 32 га. Вартість інвестицій 22 млн. EUR. Відповідальний за реалізацію – місто Мальме в партнерстві з Компанією будівництва соціального житла (МКВ).

- Ретенція дощової води в Кракові, Гданську и Варшаві (з 2013-2014 г.) – проекти використання дощової води за рахунок її ретенції та/або відведення в ґрунт, водні об'єкти, зливову каналізацію. Вартість проекту в Кракові – 1 млн. PLN. Інвестори – Фонд охорони навколишнього середовища (спільно з містом, воеводством та гміною).

Подібні проекти не тільки покращують навколишнє середовище, зокрема стан водних артерій, але й сприяють економії коштів, зниженню потреби у водних ресурсах, виконують

освітню, виховну і естетичну функції, підвищують якість і, відповідно, вартість ділянок під забудову.

Кожен зі згаданих проектів управління дощовою водою в містах пов'язаний з вирішенням конкретних проблем і по-своєму унікальний, проте є загальні для подібних проектів ідеї, економічна доцільність яких повинна оцінюватися стосовно конкретного міста:

- перехоплення дощової води за допомогою системи каналів, фільтрація і накопичення в наземних або підземних ємностях/колекторах;
- використання каналів, малих ставків і поверхонь з підвищеною здатністю ретенції як складової благоустрою міської території, що забезпечує існування біологічних видів і виконує рекреаційні функції;
- використання спеціальної зливової каналізації, відокремленої від міської каналізації, ретенційні ємності для змішування зливової води з річковою для подальшого очищення;
- заміна водонепроникних покриттів частини доріг та автостоянок на частково проникні;
- зелені дахи (зелена архітектура) та низка інших.

З наведеного короткого огляду проектів витікає, що подібні інвестиції здійснюються за рахунок спеціальних фондів і грантів, дотацій з бюджетів міста та області, оплат і штрафів за користування навколишнім середовищем. Порівняно новим джерелом фінансування є плата за відведення води атмосферного походження в каналізацію – практика, що ефективно працює у США, Німеччині та Данії, та досвід яких зараз активно переймає Польща.

У 2013-2014 рр. у містах Кракові, Гданьську та Варшаві ініційовано проекти стійкого управління поводження з дощовою водою. З 20 липня 2017 р. у Польщі діє Закон про Воду (Prawo Wodne), яким введено оплати за відведення дощових і талих вод. Ці оплати повинні виплачуватися новоствореній державній установі (Державному водному господарству) і майже втричі перевищують попередній екологічний збір, який сплачувався управлінню Маршалка воеводства.

При встановленні розмірів оплат необхідно враховувати спосіб загосподарювання території, площу забрудненої поверхні зі щільним покриттям, з якої дощові води потрапляють до зливової каналізації, оцінку стану каналізаційної мережі тощо. Відсутність подібних оплат перешкоджає водопровідно-каналізаційним підприємствам інвестувати в технічну інфраструктуру.

У фінансуванні проектів ретенції і використання дощової води у польських містах задіяно також штрафи за забруднення навколишнього середовища, кошти екологічних фондів і фондів водного господарства (гмінних і воеводських), а також цільові дотації з міського бюджету. Бенефіціарами дотації є фізичні особи, об'єднання мешканців, юридичні особи, підприємці, а також ландшафтні об'єкти та комплекси в місті. Розміри окремих дотацій складають від 5000 до 10000 PLN і покривають від 50 до 100% витрат на інсталяцію систем збору і використання води атмосферного походження. У 2014 р. з бюджету м. Кракова та Фондів охорони навколишнього середовища на ці цілі було призначено 1 млн. PLN (Burszta-Adamiak, 2014).

Висновки та рекомендації

1. Використання сучасних технологій стійкого управління поводження з дощовою водою є актуальним завданням, яке успішно реалізується у багатьох містах світу. Це завдання є принципово мультидисциплінарним, і його системне розв'язання потребує об'єднання зусиль інженерів, екологів, економістів і фінансистів, урбаністів і урбансоціологів, спеціалістів у сфері комп'ютерного моделювання і геоінформаційних систем. Подібні проекти мають супроводжуватися також відповідними культурно-освітніми програмами для муніципалітетів і мешканців міст і програмами участі населення.

2. З екологічної точки зору поверхневий стік чинить значне навантаження на водні об'єкти урболандшафтної екосистеми; детальний гідрохімічний аналіз кількісно-якісного складу стічних вод атмосферного походження та поверхневих вод показує, що головними забруднювачами природних вод є сполуки заліза, нікелю та міді, хлориди і сульфати. Для покращення екологічної ситуації та зниження впливу поверхневого стоку на річки міста Харкова рекомендується провести додаткові дослідження для обґрунтування створення закритих типів локальних біологічних очисних споруд, розташованих на випускних мережах дощової каналізації у водні об'єкти та використовувати засоби фітореміністрації в умовах урболандшафтної басейнової геосистеми річок Харкова й Уд.

3. До економічних переваг від збору дощової води на території міста, зокрема, відносяться:

- значне зниження споживання питної води: економія на рівні домашніх господарств (приватного сектору) змінює довгостроковий попит на воду по всьому місту, дозволяє використовувати в очисних спорудах труби і насоси меншої потужності;

- зниження пікових потоків дощових вод та їх сумарного обсягу покращує якість води та знижує екологічне навантаження на водні шляхи і об'єкти; це дозволяє економити на вартості інфраструктури управління зливовими водами та на площах водно-болотних угідь, знижує втрати від повеней і підтоплень;

- створення нових робочих місць на місцевому рівні: дослідження, проведені в Південно-Східному Квінсленді, виявили, що реалізація програми збору дощової води, яка охопила 90% нових будинків, забезпечила створення 800 додаткових робочих місць;

- підвищення доступності житла, спроектованого з урахуванням блакитних технологій, зниження витрат населення на оплату споживаної води.

4. Техніко-економічне обґрунтування пілотного проекту управління дощовою водою в умовах м. Харкова вимагає ретельного вибору експериментальної площадки, доступних інженерних рішень, точних кількісних оцінок витрат/ефективності, а також можливих джерел фінансування і інвесторів, розмірів разових, середньо- та довгострокових інвестицій і термінів їх окупності.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Харківській області у 2015 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/regionalni/regionalni-opovidi-u-2015-rotsi/harkiv_2015.pdf
2. Rosek Ksz. Wody opadowe jako przedmiot gospodarowania. 2017. [Electronic resource]. – Access mode: <http://repozytorium.uni.lodz.pl:8080/xmlui/handle/11089/21639>
3. Wojciechowska E. i in. Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zyrbonizowanym. Politechnika Gdańska, 2016. – 78 s. [Electronic resource]. – Access mode: www.GEOMATYKA.eu
4. Królikowska, A. Królikowski E., 2012. Wody opadowe: odprowadzanie, zagospodarowanie podczyszczanie i wykorzystywanie. – Józefostów: Seidel-Przywecki Sp. z o.o, 2012. – 352 s.
5. Burszta-Adamiak E. Mechanizmy finansowe gospodarowania wodami opadowymi w miastach. // Zrównoważony Rozwój – Zastosowania. – 2014. – nr. 5. – s. 59-63.
6. Самойленко В.М. Моделирование урбандошадфтных бассейновых геосистем / В.М. Самойленко, К.О. Верес. – К.: Ника-Центр, 2007. – 296 с.
7. Pinzón T.M. Modelling and sustainable rainwater harvesting in urban systems. – Thesis for Ph.D. degree in Environmental sciences and technology. – Univetsytat Autònoma de Barselona, 2012. [Electronic resource]. – Access mode: tmp1de1
8. Guerreiro S.B., Glenis V., Dawson R.J., Kilsby C. Pluvial flooding in European cities – A continental approach to urban flood modelling. // Newcastle university ePrints, 2017, 9(4), 296. – 18 p.
9. Мостепан О.В. Дослідження впливу зливових вод з автомобільних доріг у забруднення водних об'єктів (на прикладі м. Харкова) / О.В. Мостепан // Вісник Харківського національного автомобільного дорожнього університету: сб. наук. трудів. – Х., 2010. – Випуск 48. – С. 37-41.
10. Юрченко В.О. Дослідження технологічних характеристик поверхневого стоку з автомобільних доріг / В.О. Юрченко, М.В. Коротченко, О.В. Бригада, Л.С. Михайлов // Автошляховик України: наук.-виробн. журн. – К.: Державтотранс НДІпроект, 2012. – Вип. 4 (228). – С. 44-47
11. Ричак Н.Л. Розрахунок економічного збитку від поверхневих вод атмосферного походження (на прикладі житлової підсистеми) / Н.Л. Ричак, В.М. Московкін, В.В. Кузнєцова // Вісник Харківського університету імені В.Н. Каразіна. – Серія «Геологія – Географія – Екологія». Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2016. – Вип. № 1147. – С. 239-248.
12. Moskovkin V. M. Bibliometric Analysis of Urban Runoff Study with help of Google Scholar / V. M. Moskovkin, A.V. Prizhivalinskiy, N. L. Rychak, R.V. Lesovik // International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol.10, nr. 24. – P. 45675-45681.
13. Серикова Е.Н., Стрельникова Е.А. Изменение уровня грунтовых вод в городской экосистеме г. Харькова. // Вісник НТУ «ХПІ». 2016. №4 (1176), С. 132-137.
14. Сенге П. Пятая дисциплина. Искусство и практика обучающейся организации. – OZON.ru, 2003. – 408 с.
15. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Green Infrastructure (GI) – Enhancing

Europe's Natural Capital /* COM/2013/0249 final*/ [Electronic resource]. – Access mode: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0249>.

16. Монітор погоди у Харкові. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34300>.

17. Dobre praktyki zarządzania wodą deszczową w miastach. // Zrównoważony Rozwój – Zastosowania. – 2014. – nr. 5. – S. 115-127.

References

1. National report about the state of the environment in Kharkiv region in 2015. (2015) Retrieved from: http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/regionalni/rehionalni-opovidi-u-2015-rotsi/harkiv_2015.pdf

2. Rosek Ksz. (2017) Wody opadowe jako przedmiot gospodarowania. 2017. Retrieved from: <http://repozytorium.uni.lodz.pl:8080/xmlui/handle/11089/21639>

3. Wojciechowska E. i in. (2016) Wybrane aspekty zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenie zyrbonizowanym. Politechnika Gdańska. 78 p. Retrieved from: www.GEOMATYKA.eu

4. Królikowska, A. Królikowski E. (2012). Wody opadowe: odprowadzanie, zagospodarowanie podczyszczanie i wykorzystywanie. – Józefosław: Seidel-Przywecki Sp.zo.o. 352 s.

5. Burszta-Adamiak E. (2014) Mechanizmy finansowe gospodarowania wodami opadowymi w miastach. Zrównoważony Rozwój, Zastosowania. nr. 5. P. 59-63.

6. Samoilenko V. M., Veres K. O. (2007) Modeling of urban landscape geosystems. K.: Nika-Center. 296 p.

7. Pinzón T.M. (2012) Modelling and sustainable rainwater harvesting in urban systems. Thesis for Ph.D degree in Environmental sciences and technology. Univetsytat Autnónma de Barselona. Retrieved from: trmp1de1

8. Guerreiro S.B., Glenis V., Dawson R.J., Kilsby C. (2017) Pluvial flooding in European cities – A continental approach to urban flood modelling. // Newcastle university ePrints. 9(4), 296. 18 p.

9. Mostepan O.V. (2010) Investigation of the influence of rainwater from highways on water bodies pollution (on the example of Kharkiv). Bulletin of the Kharkov National Automobile Road University: col. of scientific works. Issue 48. P. 37-41.

10. Yurczenko V.O., Korotczenko M.V., Brigada O.V., Mikhailov L.S. (2012) Research of technological characteristics of surface runoff from highways Avtoshlakhovik Ukrainy: Res.and Prod. Mag. – K.: Derzhavtotrans NDiproekt. Issue 4 (228). P. 44-47.

11. Ryczak N.L. Moskovkin V.M., Kuznetzova V.V. (2016) Calculation of economic damage from surface waters of atmospheric origin (on the example of a residential subsystem) Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series «Geology – Geography – Ecology». Coll. of scient. works. Kh.: V.N. Karazin Kharkiv National University. Issue. № 1147. P. 239-248.

12. Moskovkin V. M. Prizhivalinskiy A.V., Rychak N. L., Lesovik R.V. (2015) Bibliometric Analysis of Urban Runoff Study with help of Google Scholar. International Journal of Applied Engineering Research, vol.10, nr. 24. P. 45675-45681.

13. Serikova E.N., Strelnikova E.A. (2016) Change in the level of groundwater in the urban ecosystem of Kharkov. Bulletin NTU “KhPI”. №4 (1176), P. 132-137.

14. Senge P.M. (1997) The fifth discipline. The Art @ Practice of the Learning Organizations. MCB UP Ltd, 1997. 408 p.

15. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital /* COM/2013/0249 final*/ Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0249>.

16. Weather Monitor in Kharkiv. Retrieved from: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34300>.

17. Dobre praktyki zarządzania wodą deszczową w miastach. (2014) Zrównoważony Rozwój – Zastosowania. 2014. nr. 5. P. 115-127.