

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
Географічний факультет
Кафедра географії України та регіоналістики

ДОЩОВИЙ І ТАЛИЙ СНІГОВИЙ СТІК В ЧЕРНІВЦЯХ

Дипломна робота

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Виконав:

студент VI курсу 617 групи

спеціальність: 103 «Науки про Землю»

(гідрологія)

Владейчук Ігор Васильович

Керівник: к.геогр.н., доцент **Николаєв А. М.**

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри № 20

від „11” грудня 2023 р.

зав. кафедри  проф. Костащук І.І.

Чернівці – 2023

АНОТАЦІЯ

Владейчук Ігор Васильович

*Здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
галузі знань 10 – Природничі науки, спеціальності 103 – Науки про Землю,
ОПП «Гідрологія»
кафедри географії України та регіоналістики
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича,
м. Чернівці, Україна*

ДОЩОВИЙ І ТАЛИЙ СНІГОВИЙ СТІК В ЧЕРНІВЦЯХ

Анотація. Проаналізовано особливості формування поверхневого стоку з урбанізованої території; здійснено розрахунок величин коефіцієнтів стоку для поверхонь досліджуваної території; проаналізовано режим атмосферних опадів в Чернівцях і встановлено тенденції їх сучасних змін; проаналізовано особливості водозбірних басейнів м. Чернівці; здійснено розрахунок та оцінку об'ємів поверхневого стоку.

Результати досліджень можуть бути використаними при розробці проектів з модернізації мереж відведення поверхневого стоку у м. Чернівці.

Ключові слова: урбанізована територія, водозбірний басейн, атмосферні опади, коефіцієнт стоку, дощовий стік, талий сніговий стік.

ABSTRACT

Vladeichuk Ihor

Applicant of the second (master's) degree of higher education in the field of knowledge 10 – Natural sciences, specialty 103 – Earth sciences, educational program «Hydrology» of the Department of Geography of Ukraine and Regional Studies at the Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

RAIN AND MELTED SNOW RUNOFF IN THE CITY OF CHERNIVTSI

Abstract. The peculiarities of the formation of surface runoff from the urbanized territory are analyzed; the values of runoff coefficients for the surfaces of the studied territory were calculated; the regime of atmospheric precipitation in Chernivtsi was analyzed and the trends of their modern changes were established; the features of the water catchment basins of the city of Chernivtsi were analyzed; the calculation and assessment of surface runoff volumes was carried out.

The research results can be used in the development of projects for the modernization of surface runoff drainage networks in the city of Chernivtsi.

Keywords: urbanized area, catchment basin, rainfall, flow coefficient, rain runoff, melted snow runoff.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають посилання на відповідне джерело.


(підпис)

I.V. Владейчук

Зміст

Вступ	5
1. Теоретичні та методичні основи оцінки поверхневого стоку з урбанізованої території	8
1.1. Особливості формування водного стоку з території міста	8
1.2. Управління водними ресурсами на урбанізованих територіях	36
1.3. Сучасні методи контролю кількості атмосферних опадів	52
1.4. Коефіцієнти стоку міських територій	79
1.5. Методика розрахунку об'ємів середнього річного поверхневого стоку	85
2. Атмосферні опади в Чернівцях	88
2.1. Багаторічний режим опадів	88
2.2. Тенденції сучасних змін режиму опадів	92
3. Оцінка середніх річних об'ємів поверхневого водного стоку з території м. Чернівці	97
3.1. Водозбірні басейни міста	97
3.2. Об'єми дощового і талого снігового стоку	101
3.3. Об'єми зливогого стоку	104
Висновки	106
Література	110

Вступ

Сучасне місто, що представляє собою систему елементів, взаємопов'язаних структурою, функцією і процесом, відрізняється найбільш яскравим вираженням основних явищ техногенезу: концентруванням на відносно невеликій площі значних потоків енергії, мас води і хімічних речовин та їх подальшим розсіюванням у навколишньому середовищі. У різних країнах світу міські ландшафти займають від 02-05 до 6-10% території. площа значної кількості міст наближається і навіть перевищує 1000 км².

Багато міських поселень здавна виникали на берегах річок, які ставали головними домінантами міста, виконували оборонні функції, служили джерелами водопостачання та зручними транспортними шляхами. Згодом функції переважного числа міських річок у сформованій системі природокористування докорінно змінилися: водотоки, як і раніше залишаючись невід'ємною частиною міських ландшафтів, перетворилися на колектори та приймачі стічних вод та забрудненого поверхневого стоку з промислово-урбанізованих територій.

Формування водного стоку в міських ландшафтах істотною мірою залежить від їх гідрологічних особливостей, які в свою чергу є відображенням специфіки водного балансу міських територій, що обумовлені кліматичними змінами типовими для поселень, своєрідністю умов формування і режиму поверхневого, внутрішнього, ґрунтового та підземного стоку. Найважливішою особливістю таких районів є залучення у вологообіг на порівняно невеликих територіях значних об'ємів води, яка після її використання на господарські потреби міста, набуває інших фізико-хімічних властивостей, містить величезні маси осадового матеріалу і, як правило, скидається у гідрографічну мережу. Для транспортування води до місць споживання створюються складні мережі водопостачання, а для відведення стічних вод і поверхневого стоку (дощового, талого, поливомийного) з міської території - каналізаційні та дренажні мережі.

Системи водовідведення міст формуються поступово, складаються з елементів, які знаходяться у різному технічному стані, часто – незадовільному, каналізаційні мережі постійно потребують ремонту і модернізації. Зростання рівня урбанізованості призводить до збільшення об’ємів поверхневого стоку, які часто перевищують транспортуючі здатності мереж водовідведення, внаслідок чого відбуваються підтоплення районів міст під час дощових паводків.

Для території м. Чернівці з його значною сучасною площею – 153 км², характерні практично усі технічні та екологічні проблеми, пов’язані з формуванням поверхневого стоку і його відведенням.

Такі обставини зумовлюють необхідність виявлення умов та основних чинників формування об’ємів поверхневого стоку в містах, що значною мірою визначають інтенсивність та масштаби впливу останніх на елементи інфраструктури та водні об’єкти.

Об’єктом дослідження є місто Чернівці, **предметом** – поверхневий (дощовий і талий сніговий) стік, що формується на його території.

Метою дослідження є вивчення чинників та умов формування на території м. Чернівці поверхневого стоку та оцінка його об’єму.

Досягнення задекларованої мети викликало необхідність постановки та розв’язання низки **науково-практичних завдань**:

- аналіз особливостей формування поверхневого стоку з урбанізованої території;
- ознайомлення з сучасними методами управління водними ресурсами на території міста;
- ознайомлення з рекомендаціями Всесвітньої Метеорологічної Організації (ВМО) по контролю кількості атмосферних опадів;
- розрахунок величин коефіцієнтів стоку для поверхонь досліджуваної території;
- розробка методики розрахунку об’ємів поверхневого стоку з території міста;

- аналіз режиму атмосферних опадів в Чернівцях і встановлення тенденцій їх сучасних змін;
- аналіз особливостей водозбірних басейнів м. Чернівці;
- розрахунок та оцінка об'ємів поверхневого стоку.

При написанні роботи були використані наступні **підходи і методи дослідження**: басейновий і генетичний підходи, літературно-описовий та картографічний методи досліджень, елементи аналізу часових рядів, методи гідрологічних розрахунків.

Інформаційною базою дослідження є літературні джерела, рекомендації ВМО по контролю атмосферних опадів, картографічні матеріали, результати опадомірних спостережень на метеостанції Чернівці-Університет.

Результати досліджень можуть бути використаними при розробці проектів з модернізації мереж відведення поверхневого стоку у м. Чернівці.

Ключові слова: урбанізована територія, водозбірний басейн, атмосферні опади, коефіцієнт стоку, дощовий стік, талий сніговий стік.

1. Теоретичні та методичні основи оцінки поверхневого стоку з урбанізованої території.

1.1. Особливості формування водного стоку з території міста.

Кліматичні особливості міста. У містах формується особливий місцевий клімат, що надає якісно нові риси елементам гідрологічного циклу в межах урбанізованих територій (табл. 1.1). Для міст характерна просторова мікрокліматична неоднорідність, обумовлена їх природною та штучною топографією. У цілому нині, на думку Т.Р.Оке [43], місцевий клімат у містах є прообразом майбутнього клімату нашої планети.

Таблиця 1.1

Зміни елементів клімату у містах [41, 42, 43]

Елементи клімату	Ступінь зміни порівняно з агроландшафтами
Полютанти: Ядра конденсації та частинки Газові домішки	У 10 разів більше У 5-25 разів більше
Кількість хмар	На 5-10% більше
Туман: Взимку Влітку Сприяють утворенню смогів	На 100% більше На 30% більше На 10-20%
Опади: Загальна кількість Число днів з опадами менше 5 мм Снігопади:	На 5-10% більше На 10% більше На 5% більше
Відносна вологість Взимку Влітку	На 2% менше На 8% менше
Радіація: Загальна Ультрафіолетова взимку Ультрафіолетова влітку	На 15-20% менше На 30% менше На 5% менше
Тривалість сонячного потоку	На 5-15% менше
Температура: Середня річна Зимовий мінімум (середнє) Градусо-дні опалювального сезону	На 0,5-1,0° С вище На 1,0-2,0 ° С вище На 10% менше
Швидкість вітру: Середня річна Екстремальні пориви Штилі	На 20-30% менше На 10-20% менше На 5-20% більше

Зазвичай розрізняють такі основні антропогенні фактори формування міського клімату: будівельні конструкції, конфігурація будівель і вулиць, штучні джерела тепла, штучне водовідведення, забруднення атмосферного повітря, характер озеленення [38, 41-43].

У містах деформація та зміна властивостей підстильної поверхні та прикордонного шару атмосфери через наявність будівель та своєрідності їх конфігурації виражаються в особливостях температурного та вітрового поля, режиму вологості, радіаційного режиму [41]. Значення має і специфічний склад міської атмосфери, який, в свою чергу, залежить від особливостей температурного та вітрового поля. Як правило, навіть у центральних частинах міста температура повітря в середньому на 1°C вище, ніж у його окраїнній зоні [42]. Особливо різка різниця температур (до 5-8° С) спостерігається в ранкові години взимку і ввечері в літній час. Так, дослідження впливу м.Вашингтона (США) на радіаційний баланс території показали, що різниця температур між містом і прилеглими лісами в літній час досягає 10° С [43].

«Острів тепла», що формується над центром міста («міський кліматологічний купол») - характерна риса міського мікроклімату - викликає конвективну циркуляцію повітря. При цьому, як правило, у приземному шарі швидкість вітру спрямована до центру міста [41], що обумовлює погану вентиляцію його центральної частини, багато в чому пов'язану з існуванням будівель, призводить до скупчення тут поллютантів [43] і, відповідно, до них активнішому осадженню на підстилаючі поверхні. Саме тому острів тепла, що постійно існує в містах, в більшості випадків супроводжується формуванням «острова забруднень», який руйнується тільки при дуже сильному вітрі або при проходженні атмосферних фронтів, але здатний, однак, відновити свою структуру за 1-2 доби» [41, 42].

Атмосфера міст характеризується наявністю значної кількості ядер конденсації, що обумовлено її інтенсивним техногенним забрудненням. На основі аналізу даних безперервних спостережень за аерозольною

каламутністю атмосфери було встановлено, що через певне скорочення антропогенних викидів внаслідок зменшення промислової діяльності в місті наприкінці ХХ ст. відзначалося помітне зменшення аерозольної каламутності атмосфери [38].

Дійсно, над містами завжди існують так звані «острова каламутності» [Є, 140]. Наприклад, аерозольна каламутність атмосфери у м. Берлін на 20-40% більше, ніж у приміських районах, що призводить до збільшення природно визначеної для цієї території суми опадів. Так було в 1910-1962 гг. в Берліні випадало в середньому на 11% більше опадів, ніж за її межами. Спостереження в Бремені (ФРН) показали, що за 15 років тут опадів у середньому було на 16% більше у порівнянні з місцевістю, яка на 1,5 км віддалена від центру міста [43]. За даними [38], річна сума опадів у містах з підвітряного боку за їх межами більша (щодо зональних показників) на 5-30%; зростання числа днів з грозами для деяких міст становить 15-30%, а повторюваність днів з опадами більше 5 мм збільшується з підвітряної сторони міських комплексів на 20-40%. Зростання повторюваності туманів, що спостерігається у містах, які сприяють формуванню смогів, відбувається не тільки за рахунок більшої кількості ядер конденсації, але й через те, що атмосферні домішки містять значну кількість гігроскопічних частинок. Конденсація вологи на таких частках може початися при відносній вологості менше 100%, проте щільність туманів, що утворюються через наявність острова тепла - може бути менше. За даними, величина сумарної освітленості влітку у місті на 3-12%, а взимку на 20-30% нижче, ніж у селі; УФ-випромінювання в місті в 2 рази менше, опадів на 10% більше, сила вітру менше на 20-30% [41, 42].

«Незважаючи на те, що зменшення прозорості атмосфери призводить до зниження надходження прямої сонячної радіації на міські території, загальний тепловий вплив міста, пов'язаний з техногенними факторами, позначається на прискоренні процесів сніготанення: коефіцієнт танення в містах значно вищий, ніж на його околицях. Так, вивчення процесів

формування стоку від сніготанення на малих водозборах у південно-центральної частині провінції Онтаріо (Канада), залучених у субурбанізацію (перетворення сільськогосподарської місцевості на передмістя; в даний час це явище дуже характерне для багатьох міст у зв'язку з будівництвом котеджів у приміській зоні), показало, що за 14 років тут відбулося шестиразове збільшення коефіцієнта весняного стоку і почастишали різко виражені паводки, викликані таненням снігу. Інтенсифікація процесів сніготанення значною мірою обумовлена зниженням альbedo снігового покриву (через його техногенне забруднення). Зокрема, якщо чистий сніг має альbedo 0,75-0,95, то до періоду сніготанення воно знижується до 0,30 (альbedo нового асфальту становить 0,10-0,13. Усе це призводить до випередження сходу снігу у містах і навколо них (загалом на 6-48 днів в порівнянні з природними умовами). Площа, в межах якої місто впливає на властивість і динаміку снігового покриву, зазвичай, у 2-3 рази більше міської території» [42, 43].

Особливості підстильної поверхні та геологічного фундаменту міських територій. Своєрідність підстильної поверхні та особливості геологічного фундаменту міст зумовлюють специфічні умови формування в їх межах поверхневого, внутрішньогрунтового, ґрунтового та підземного стоку. Особливо яскраво гідрологічна роль міст проявляється в тому, що займана ними територія відрізняється екстремальним станом проникності поверхні: через наявність асфальтових і бетонних покриттів (так звана запечатаність ґрунтів), дахів будинків тощо вона набагато нижча, ніж у природних умовах. Вплив таких територій на водний баланс (і кліматичні умови) міст виражається у збільшенні частки поверхневого стоку, у уповільненні формування горизонту ґрунтових вод, у зниженні випаровуваності, сприяє інтенсивному нагріванню повітря влітку і призводить до дефіциту вологості повітря [39, 40]. У кількісному відношенні площі непроникних для води територій залежать від віку, розмірів та упорядкованості міст. Для малих і середніх міст із чисельністю населення

менше 300 тис.чол. їхня частка від загальної міської території, як правило, не перевищує 20%; у великих містах вона збільшується до 30%; у містах із населенням понад 1 млн.чол. - коливається не більше 35-89% [40]. Наприклад, запечатаність ґрунтів у межах центру Праги становить не менше 80-90% площі, на територіях промислових зон вона досягає 80%; у межах житлової забудови – змінюється від 20 до 70%. Наявність дренажної мережі для відведення поверхневого стоку також сприяє швидкому добіганню атмосферних вод в гідрографічну мережу. Зазвичай значення коефіцієнта стоку міста становлять 0,3-0,9, тоді як у природних, районах вони рідко перевищують 0,2-0,3 (табл. 1.2, 1.3). У зв'язку з цим гідрографи для міських територій, як правило, відрізняються більш крутими гілками підйому і спаду [38, 40]. Слід зазначити, що в містах сніг, що утворюється після очищення вулиць, нерідко скидається безпосередньо в міські водотоки і вивозиться на снігозвалища, що також позначається на гідрологічному режимі урбанізованих територій.

У багатьох містах природний ґрунтовий шар і частина зони аерації на значній площі змінилися культурним шаром ґрунту з водно-фізичними властивостями, відмінними від таких у природних умовах. Тут на тлі різних будівель і споруд, асфальтованих автострад, вулиць і площ широко поширені різні за ступенем техногенної трансформації перетворені ґрунти і штучно створені ґрунтоподібні утворення, які в ряді класифікацій отримали назву - залежно від походження та властивостей - антропоземів, техноземів, культуроземів, урбаноземів та ін. Головними діагностичними ознаками міських ґрунтів є: зміщення рН у лужну сторону, збагачення основними елементами живлення, підвищення щільності, кам'янистості, специфічний водний, газовий та температурний режими, що призводить до порушення багатьох екологічних функцій, які виконує ґрунт у природних екосистемах.

Таблиця 1.2**Середні значення коефіцієнтів стоку різних поверхонь [39]**

Характеристика поверхні	Коефіцієнт стоку
Покрівля та асфальтобетонні покриття доріг	0,95
Брущаті мостові та чорні щебеневі покриття доріг	0,65
Булижні мостові	0,45
Щебеневі покриття, не оброблені в'язкими матеріалами	0,40
Гравійні садово-паркові доріжки	0,30
Грунтові поверхні (сплановані)	0,20
Газони	0,10
Дубовий ліс[85]	0,09

Таблиця 1.3**Коефіцієнти поверхневого стоку з території металургійних підприємств [40]**

Характеристика території	Площа, %	Коефіцієнт стоку
Будинки та споруди	22-24	0,95
Дороги із твердим покриттям	2,5-4,5	0,95
Залізничні колії	16-18	0,60
Заводські двори та майданчики	21-23	0,45
Зелені насадження та газони	3,5-5,0	0,10
Відвали	19-22	0,20
Гідротехнічні споруди	8-12	-

В даний час міські ґрунти виконують функцію своєрідного «депо» для багатьох поллютантів, стають одним з найважливіших геохімічних бар'єрів на шляху їх міграції з атмосфери в ґрунтові води та поверхневі водоймища і одночасно грають роль потенційного вторинного джерела забруднення міського середовища. Для ряду антропогенно-перетворених ґрунтів "характерне збільшення щільності та зміна фільтраційних властивостей, наявність провальної або мозаїчної водопроникності, обумовленої присутністю порожнин у профілі за рахунок будівельного або побутового сміття, а також за рахунок глибшого проникнення кореневої системи рослин та деяких інших факторів. У більшості випадків природні та штучно створені ґрунти міста, незалежно від характеру підстилаючих порід, характеризуються

сильним ущільненням, особливо з поверхні (щільність складання нерідко досягає 1,3-1,6 г/м³).

«Певною мірою природні умови формування поверхневого стоку та живлення ґрунтових вод зберігаються в межах міських парків, скверів тощо. Але навіть на таких територіях існує мережа непроникних покриттів (пішохідні доріжки, вимощення і т. д.), що порушують умови формування поверхневого стоку та інфільтрацію атмосферних вод. Цьому сприяє також наявність у межах старих садово-паркових ансамблів різних техногенних відкладень [38]. Зокрема, для культурних прошарків стародавніх оборонних споруд характерні насипи, що утворилися як у результаті спеціальної інженерної підготовки території, так і стихійного накопичення продуктів життєдіяльності людини. Потужність культурного шару, якому властива неоднорідність складу, структури та властивостей складових його ґрунтів, змінюється у широкому діапазоні - від 0,3 до 12 м» [38-40].

У межах міст помітно змінюються рельєф та інженерно-геологічні умови, що суттєво обумовлено специфікою літологічних і фізико-хімічних властивостей широко розвинених тут техногенних відкладень і техногенно перетворених гірських порід [38-40]. Інженерно-господарська діяльність людини трансформує підземну сферу (геологічний фундамент міста) до глибин кількох метрів. Найбільш сильний техногенний вплив на літолого-хімічні властивості порід простежується на глибину 20-50 м, іноді більше (до 100-300 м), а потужність техногенних відкладень у виняткових випадках досягає декількох десятків метрів. Довжина ярів у межах окремих міст становить від 200-300 м до 3 км; глибина врізання їх змінюється від 4-6 м у верхів'ях до 25-30 м у гирловій частині; близько 10% схилів ярів і долин річок схильні до площинного змиву [39].

«Засипані земляні виїмки, що існують у містах, викликають різку зміну характеристик ґрунтів на невеликих площах, що значною мірою ускладнює інженерно-геологічні умови територій і змінює їх гідрогеологічний режим. Склад насипів обумовлений в основному двома факторами: геолого-

геоморфологічними умовами місцевості та історією розвитку території. Загалом насипи представлені піщано-глинистими ґрунтами, що містять грубоуламковий матеріал, що є продуктом руйнування та перебудови різних споруд. У культурному шарі встановлено присутність сильногумусованих ґрунтів, що характеризуються рясним вмістом деревних залишків, фекальних відходів тваринництва тощо. Такі ґрунти відрізняються значною стискаємістю і гідрофільністю, слабкою водовіддачею, малою міцністю до дотичних напруг. Постійне збільшення потужності техногенних відкладень зумовлює «вростання» стін древніх споруд у землю, що сприяє порушенню поверхневого стоку, міграції вологи на контакт ґрунт-пам'ятник і призводить до активізації фізико-хімічних процесів. Наприклад, на території комплексу оборонних споруд набули розвитку такі інженерно-геологічні процеси: підйом рівня ґрунтових вод і підтоплення території, виражені (сезонні) коливання рівня ґрунтових вод, механічна деформація ґрунтів, температурні деформації будівельних конструкцій і ґрунтів, вивітрювання штучних і природних будівельних матеріалів, окислення органіки, гниття свай і лежнів, заболочування природних і штучних водотоків і водойм» [39].

Будівництво висотних будівель обумовлює збільшення статичних навантажень, під впливом яких змінюються напружений стан ґрунтової товщі, структура та деякі фізико-механічні властивості порід природних основ, найчастіше в наступних напрямках збільшуються - щільність, ступінь щільності, показник ущільненості, коефіцієнт дегідратованості, модуль деформації, ступінь стиснення, кут тертя, зчеплення; зменшуються - вологість, пористість, коефіцієнт пористості, модуль усадки, показник консистенції, коефіцієнт ущільнення та ін. Динамічний вплив у містах реалізується через вимушені механічні коливання, створювані у ґрунті різними джерелами (табл. 1.4). Основна частина коливальної енергії передається поверхневими хвилями, що поширюються в межах самої верхньої частини ґрунтової товщі (до 10-15 см). Тому як самі ґрунтові масиви, так і всі комунікації, фундаменти будівель і більшість підземних

споруд виявляються схильними до вібрації, вплив якої на ґрунти може призводити до зміни рельєфу поверхні і погіршення механічної стійкості порід. Динамічні навантаження, додаючись до діючим статичним, сприяють ущільненню ґрунтів, зсувним деформаціям, руйнуванню структурних зв'язків.

Таблиця 1.4

Джерела динамічного впливу у містах [38]

Джерело динамічного впливу (вібрації)	Віброшвидкість, мм/с
Рейковий транспорт	160-0,3
Промислові установки	5-0,05
Будівельна техніка	1,6-0,002
Автомобільний транспорт	0,07-0,005
Денний фон у місті	0,02-0,006
Нічний фон у місті	0,01-0,003
Рівень мікросейсми (у несейсмічних районах)	<0,5
Безпечний «інженерно-геологічний» рівень	0,225
Безпечний фізіологічний рівень	0,12

«У багатьох промислово-урбанізованих районах світу відзначається явище осідання поверхні, викликане штучним зниженням дзеркала підземних вод та (або) зняттям пластового тиску. Динаміка розвитку осідання при водозниженні в загальному випадку залежить від інтенсивності водовідбору, від величини зміни рівня або напорів, від геологічної будови та морфології району, від здатності порід до стискання та від потужності стискаючих товщ. Вважається, що осідання поверхні землі пов'язане в основному з дегідратацією глин та їх консолідацією. Так, найбільші осідання поверхні відзначаються при переважанні в геологічному розрізі глин і (або) піщано-глинистих порід, що перешаровуються, в основному молодого віку у зв'язку з цим неущільненими, причому при зниженні напірних рівнів до 50-110 м осідання денної поверхні досягає 2-3 м (і більше) і простежується на площах, що становлять нерідко тисячі квадратних кілометрів. В результаті осідання поверхні підвищується рівень ґрунтових вод, відбувається підтоплення та

заболочування місцевості тощо. Наприклад, у м. Бангкоку вже до початку 1980-х рр. надмірна експлуатація підземних вод призвела до масштабних осідань верств морських відкладень між водоносними горизонтами» [38]. В результаті цього порушилася поверхнева система дренажу, на бруківках і тротуарах міста з'явилися тріщини, а інтенсивність просідання земної поверхні в східній частині міста, територія якого знаходиться на висоті всього 1-2 м над рівнем моря, досягла 100 мм на рік. Рівень води в основних пластах на глибині 100 м і більше знижувався зі швидкістю 2,5 м на рік, що викликало вторгнення у водоносні горизонти морської (солоні) води та змусило відмовитися від експлуатації ряду свердловин. Слід зазначити, що останнє явище, обумовлене інтенсивним відбором підземних вод, типово для багатьох приморських міст, що викликає різке погіршення (засолення) водоносних горизонтів, що експлуатуються [38, 40]. «При зменшенні водовідбору та підвищення рівня підземних вод опускання земної поверхні припиняється і нерідко спостерігається її підйом. Як правило, осідання земної поверхні викликається не тільки інтенсивною експлуатацією підземних вод, але й різними будівельними роботами, пов'язаними з освоєнням підземного простору міст, з витокм стічних вод із підземних колекторів і т.ін» [38].

У загальному випадку інженерне освоєння підземної сфери міст і експлуатація підземних вод істотно впливають на зміну умов взаємозв'язку поверхневих і підземних вод, викликають осушення ґрунтів за рахунок зниження рівня ґрунтових вод, що призводить до пригнічення або загибелі рослинності, сприяє просадці земної поверхні, що пов'язано з процесами вторинної консолідації осушених порід та депресійним ущільненням піщано-глинистих товщ при зниженні пластового тиску, а також викликає інтенсифікацію суффозійно-карстових процесів та ін.. Утворення провалів, зумовлених розвитком депресійних воронок, спостерігалось в багатьох країнах світу, причому на урбанізованих територіях у більшості випадків провали утворюються без будь-яких провісників.

У межах міських територій спостерігається активізація, особливо на берегах річок, зсувних процесів; змінюються гравітаційне, температурне, електричне, магнітне та інші фізичні поля, створюються шумове та вібраційне поля. Поле блукаючих струмів, що формуються в геологічному фундаменті міст, зумовлює зміну корозійних умов, що інтенсифікує корозію фундаментів будівель і т. д. Геотемпературні аномалії (так зване теплове, або термальне, забруднення) зазвичай найбільш інтенсивно розвиваються на середніх глибинах (в 10-30 м), що призводить до зміни інженерно-геологічних умов на окремих ділянках ґрунтів, (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Основні джерела теплового впливу у містах [42, 43]

Джерело теплового впливу	Температура джерела, °С
Підземні газоходи промислових підприємств	160-140
Теплотраси	150-50
Збірні колектори, комунікаційні тунелі	45-35
Тунелі метрополітену, підземні споруди	25-18
Ґрунт, проморожений під час будівництва	від -10 до -26
Зріджений газ у підземних сховищах	-160
Природна температура гірських порід	від -2 до -10

Температурні аномалії нерідко виходять за межі міст. За даними різночасних вимірів, максимальні значення температури у межах територій великих старих заводів досягають 40-45°C, у районах житлової забудови - 20-22°C, в агрорайонах - 12-16°C. Збільшення температури відмічається у всіх експлуатаційних кам'яновугільних комплексах. Підвищення температури підземних вод обумовлює збільшення їх розчинної та транспортуючої здатності, стимулює багато хімічних та біогеохімічних явищ і процесів, що прямо чи опосередковано впливають на характер та інтенсивність протікання підземної корозії.

Гідрогеологічні особливості міст. «Для промислово-урбанізованих районів характерна зміна природного режиму ґрунтових і підземних вод на

так званий антропогенний режим міського типу, що не встановився. Техногенний вплив супроводжується зміною умов живлення та розвантаження підземних вод та вологісного режиму ґрунтових товщ, зникненням та появою нових водоносних горизонтів, у тому числі верхівки, формуванням депресійних воронок, зон підпору, порушенням сформованих гідравлічних зв'язків поверхневих, ґрунтових та підземних вод, трансформуванням складу та стану гірських порід та активізацією несприятливих інженерно-геологічних процесів [38, 40]. Звичайні найбільш істотні зміни гідрогеологічних умов властиві великим містам; а також поселенням, де підземні води активно використовуються для промислового та господарсько-побутового водопостачання. Проте встановлено, що техногенні зміни підземних вод характерні і для тих міст, де водопостачання майже повністю базується на поверхневих джерелах, причому спрямованість таких змін зрушена у бік погіршення якості підземних вод» [38, 40].

Інтенсивна експлуатація підземних вод для водопостачання міст (і активне освоєння їх підземної сфери) обумовлює розвиток різних процесів, що викликають зміну гідродинамічних та геохімічних умов у водоносних горизонтах, у тому числі, зниження п'єзометричного, рівня та утворення депресійних воронок, осушення суміжних водоносних горизонтів, зміни якості підземних вод, умов живлення та розвантаження водоносних горизонтів, зміни ландшафту. Депресійні поверхні рівнів або натисків підземних вод можуть досягати значних розмірів (глибина 50-150 м і більше, радіуси - десятки кілометрів); відомі зниження рівнів, досягають кількох сотень метрів, а зниження, обчислювані першими десятками метрів, зустрічаються повсюдно [38].

«У м. Феніксі (шт. Арізона, США) з 1960 р. відбір підземних вод досягав 2775 млн. м³/год, а заповнення їх становило лише 1233 тис. м³/год [38-40]. У м. Гянджа (Азербайджан) в результаті водовідбору підземних вод щорічне зниження рівня останніх становить 0,8-1,6 м. У критичних ситуаціях спостерігається практично повне виснаження експлуатованих водоносних

горизонтів, що, зокрема, виявлено в р. Ер-Ряді (Саудівська Аравія). Тут значний водозбір призвів до того, що один з трьох водоносних горизонтів, що містять прісні підземні води, на сьогоднішній час вже майже повністю виснажений [40]. У деяких містах зростаюча різниця в напорах артезіанських і ґрунтових вод сприяє перетіканню забруднених поверхневих і ґрунтових вод у глибокі горизонти підземних вод» [38-40].

У містах суттєво змінюється характер інфільтраційного живлення ґрунтових та підземних вод. Наприклад, у межах ряду міст лише 30% інфільтраційного живлення ґрунтових вод формується за рахунок атмосферних опадів, решта визначається причинами та явищами, пов'язаними з функціонуванням міського господарства. Встановлено, що вплив інфікаційного живлення на рівень ґрунтових вод за період господарського освоєння міської території зріс у 2,5 рази. Розвантаження четвертинних водоносних горизонтів у річки та штучні дренажні споруди за останні 80-90 років збільшилося в 2-2,5 рази, тобто модуль підземного стоку річок залишився приблизно таким самим, як і в відносно природних умовах [40].

У більшості випадків при експлуатації підземних вод відбувається зменшення підземного стоку в річки і виникнення фільтрації поверхневих і річкових вод у водоносний горизонт. Такі явища особливо різко виявляються у випадках, коли водозабори розташовуються поблизу областей живлення чи розвантаження водоносних горизонтів. Величина скорочення річкового стоку під час експлуатації підземних вод та її зміна у часі залежить від великої кількості чинників, при цьому слід враховувати, що це скорочення, зазвичай, розтягується у часі. На ділянках існування депресійних вирв зазвичай спостерігається зменшення (на 5-25% від річних величин) річкового стоку (головним чином за рахунок скорочення підземного припливу і меншою мірою через зниження фільтрації річкових вод). Дослідження в Мещерській низовині (на південний схід від Москви) показали, що модуль підземного живлення річок, що опинилися в межах депресійної воронки, знизився на

50% у порівнянні з басейнами з непорушеними умовами, а норма загального стоку цих річок зменшилася на 20 %. Наявні відомості показують, що значно впливає відбір підземних вод лише на стік малих річок, причому відомі випадки, коли у зв'язку з експлуатацією підземних вод малі річки на окремих ділянках повністю пересихали.

«Для багатьох міст серйозною проблемою є підвищення рівня ґрунтових вод, що супроводжується розвитком підтоплення територій, внаслідок чого ґрунтові води досягають глибини розташування основної частини підземних комунікацій, підвалів будівель. Основними факторами, що зумовлюють підтоплення, можуть бути розширення площі асфальтових покриттів, збільшення живлення ґрунтових вод при витоках з водонесучих комунікацій, фільтрація з ставків і будівельних котлованів, інфільтрація поливомийних вод, інтенсивне танення снігу над теплонесучими комунікаціями та підземними спорудами при будівельних роботах; підпір підземного потоку фундаментами будівель та ін. Зараз у Східній Європі в підтопленому стані знаходяться понад 2000 населених пунктів, в т. ч. цілі райони багатьох міст» [38-40]. Підтопленню піддаються великі підприємства металургійної, хімічної та переробної промисловості. Окрім верховодки, в товщі насипних ґрунтів утворюються техногенні і водоносні горизонти із специфічним режимом живлення та особливим хімічним складом води. При підтопленні здебільшого різко інтенсифікується корозійна здатність води по відношенню до бетонних, металевих та інших конструкцій. Підтоплення активно впливає на склад, стан і властивості порід, збільшуючи їх вологість, послаблюючи структурні зв'язки, сприяючи розвитку набухання, розмокання, зниження міцності та підвищення деформованості порід. У Будапешті лише з 1977 по 1982 р. було зареєстровано близько 2000 випадків затоплення підвалів і підтоплення територій внаслідок підйому підземних вод [38]. Певну роль у формуванні обводнених ділянок грають витоки з водопровідних і каналізаційних мереж. Наприклад, витікання зі старої муніципальної водопровідної системи в м.Каїрі призвели до розвитку великих обводнених

ділянок у межах міської забудови [38]. За цими даними, 1978 р. втрати води у системі водопостачання Каїра становили 1 млн. м³/добу. (або 47% від загальної кількості, що подається до водопроводів). У м. Баку на початку 1990-х років витікання з водонесучих комунікацій у підземні горизонти досягали 170 тис. м³/добу. В результаті цього в ряді районів міста швидкість підйому рівня ґрунтових вод склала 1,5-7 м на рік. Розрахунки показали, що у прибуткових статтях балансу ґрунтових вод на частку штучних чинників припадає понад 90%, на частку природних - близько 10% [39].

Нерідко в межах великих міст обидва явища – зниження рівня ґрунтових (підземних) вод та підтоплення – можуть проявлятися одночасно. Наприклад, у м. Дессау (Німеччина) у період 1965-1990 років внаслідок відбору підземних вод відбулося зниження рівня останніх на 2-3 м на значних площах [136]. У наступне десятиліття через значне скорочення водовідбору (в 10-12 разів) спостерігалось підвищення рівня ґрунтових вод, які зараз у багатьох районах міста залягають на глибині 0,5-1 м, що призвело до численних підтоплень та затоплення підвальних приміщень.

Режим ґрунтових вод на міських територіях, на думку [40], багато в чому визначається такими факторами: 1) зміною інфільтраційних процесів, пов'язаних із перекриттям частини земної поверхні водонепроникними екранами; 2) надлишковим поповненням ґрунтових вод ділянках вільної інфільтрації, що зумовлює підйом їхнього рівня; 3) інфільтрацією стічних вод, що призводить до підвищення мінералізації ґрунтових вод, особливо за рахунок таких консервативних елементів, як хлор і натрій (наприклад, у західній частині Нідерландів річна поставка хлору стічними водами міст становить 180 тис.т). Вважається, що найчастіше на міських територіях спостерігається природно-техногенний режим ґрунтових вод, при якому зміна прибуткових та видаткових складових балансу ґрунтових вод призводить до відхилень (іноді суттєвих) у добових, декадних, сезонних коливаннях рівня від типових графіків природного режиму, в цілому не змінюючи характер річного коливання. Зазвичай для природно-техногенного

режиму ґрунтових вод на підтоплюваних територіях характерно поступове підвищення поверхні ґрунтових вод при збереженні закономірностей сезонних коливань. Особливу роль відіграє так зване сезонне підтоплення. У ґрунтах зони аерації формуються техногенні водоносні горизонти, змінюється склад порових розчинів, які є накопичувачами забруднюючих речовин і відіграють роль мігранта останніх, сприяючи формуванню великих ореолів забруднення [38].

Для промислово-урбанізованих територій характерне хімічне і бактеріальне забруднення ґрунтові і підземних вод, причому ґрунтові води інтенсивно забруднені як у межах міст, так і в долинах річок нижче міст. Типовою особливістю ґрунтових вод міських територій є виражена неоднорідність їх хімічного складу, причому найбільший рівень забруднення відзначається в ґрунтових водах старої міської забудови (табл. 1.6).

Таблиця 1.6

Хімічний склад ґрунтових вод селитебної зони міста, мг/л [38]

Період	Мінералізація	pH	HCO ₃	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ¹⁺
Район старої житлової забудови									
Березень-квітень	1620* (460-4280)**	7,67 (5,4-9,7)	380 (60-630)	35 (1-1200)	200 (20-770)	220 (20-1860)	190 (20-510)	120 (4-380)	90 (5-270)
Серпень-вересень	1650 (560-3860)	7,21 (6,7-9,1)	350 (130-530)	390 (12-1870)	260 (30-560)	220 (40-670)	160 (10-380)	160 (4-440)	110 (12-270)
Район нової житлової забудови									
Березень-квітень	920 (280-2000)	7,76 (7,0-10,1)	320 (90-570)	40 (0-500)	140 (20-510)	150 (20-45)	130 (0-420)	60 (2-230)	60 (2-240)
Серпень-вересень	1050 (400-2460)	7,68 (6,2-9,6)	290 (160-690)	50 (0-700)	220 (20-720)	220 (0-490)	1700 (10-250)	60 (4-430)	70 (1-110)

* Середнє; ** інтервал.

«У порушених умовах величина інфільтраційного живлення може досягати 500-600 мм, що відповідає нормі випадання атмосферних опадів. Для природних умов ця величина не перевищує 80-120 мм/год. У місті протягом усього року відбувається поповнення ґрунтових вод за рахунок витоків із підземних комунікацій. Закислення ґрунтів супроводжується зменшенням гідрокарбонатів, кальцію, магнію та збільшенням сульфатів, хлоридів,

нітратів, алюмінію, марганець, кадмію, мідь та інших елементів. Динамічні зміни складу ґрунтових вод пояснюються збільшенням темпів водообміну.

На формування складу ґрунтових вод у межах урбанізованих територій великий вплив мають широко розвинені тут культурні шари. Встановлено, що хімічний склад ґрунтових вод, розвинених у культурному шарі, помітно відрізняється від такого в природних ґрунтах, що пов'язано, в першу чергу, з присутністю в техногенних відкладеннях великої кількості легко окислюваних органічних речовин, а також сульфатів (до 500-800 мг/л і більше) та хлоридів (до 1300-1800 мг/л і більше). У таких водах продукується більше різних газів (метану, сірководню, вуглекислого газу, аміаку). Під час обводнення культурного шару на локальних ділянках створюються відновлювальні умови; води збагачуються амонійним азотом (до 300-500 мг/л і більше). В окислювальній обстановці у нижній частині міста вміст нітратів часто перевищує 200 мг/л. Для забруднених вод характерний високий вміст слабких кислот, які збільшують агресивність вод» [40].

Техногенез нерідко обумовлює глибоку метаморфізацію загального складу ґрунтових вод та їх виражену просторову гідрохімічну строкатість, коли в межах невеликої території зустрічаються різноманітні за складом води (табл. 1.7). Наприклад, у межах м. Будапешт в підземних водах зони активного водообміну, поряд з переважанням зональних гідрокарбонатно-кальцієвих вод, помічено безліч автономних, в яких переважають сульфатний, нітратний, рідше хлоридний іони; розвинені багатокомпонентні гідрохімічні фації. Аналогічні явища характерні для багатьох міст світу.

Таблиця 1.7

Склад підземних вод різних за господарським освоєнням територій [40]

Територія	Мінералізація, г/л	повторюваність вод різного типу, %					
		Гідрокарбонатні та гідрокарбонатно-хлоридні	Хлоридні	Гідрокарбонатно-сульфатні	Сульфатно-гідрокарбонатні	Гідрокарбонатно-нітратні	Нітратно-гідрокарбонатні
Промзона	3,5	20	10	30	20	15	5
Місто	2,8	42	2	30	8	13	5
Рілля	0,6	30	2	25	3	33	7
Луки	0,5	70	-	20	-	8	2
Ліс	0,4	80	-	20	-	-	-

Суттєві хімічні зміни спостерігаються і в артезіанських водах, особливо у зв'язку з їх експлуатацією для водопостачання міст, що також призводить до трансформації хімічного складу (зміни рівнів вмісту окремих компонентів) та глибокої метаморфізації (зміни хімічного класу) підземних вод. У загальному випадку погіршення якості підземних вод внаслідок діяльності людини супроводжується такими гідрогеохімічними явищами:

- 1) формуванням техногенних регіональних гідрогеохімічних провінцій забруднених вод;
- 2) зростанням екологічної небезпеки окремих груп органічних сполук;
- 3) утворенням нових більш токсичних та добре мігруючих форм хімічних елементів [38].

«Як відомо, оптимальні для водопостачання підземні води, що містять кисень, мають окислювально-відновний потенціал порядку $+350 \pm 500$ мВ. Такі значення Eh вод визначають неможливість збільшення в них концентрацій заліза, марганцю, амонійного азоту, фосфору, сполук важких металів з неокисленими органічними речовинами. Техногенний вплив призводить до зниження потенціалу вод верхніх водоносних горизонтів. Причиною такого зниження найчастіше є неокислені органічні речовини, що надходять зі стічними водами. Ці речовини споживають кисень на своє окислення, а також викликають анаеробні та аеробні біохімічні процеси. В результаті вміст кисню в ґрунтових водах знижується до 1-3 мг/л (при звичайних 10-12 мг/л у незабруднених водах); Eh цих вод зменшується з нормальних 400-500 мВ до +250 і менше. Наслідки цього - створення сприятливого геохімічного середовища для міграції та накопичення у підземних водах амонію та фосфору» [38-40]. При низьких Eh та високих концентраціях органічної речовини відбуваються біохімічні трансформації азоту в ряду $\text{NO}_3 - \text{NO}_2 - \text{NH}_4$, а також формуються сполуки фосфору з органічною речовиною. Внаслідок утворення таких сполук геохімічні бар'єри, створювані в природних умовах катіонами кальцію і заліза, виявляються недієвими, вони вже не лімітують поширення фосфору, і він

набуває здатності накопичуватися до високих концентрацій. У цих водах відбувається накопичення всього комплексу елементів, відновлені сполуки яких більш розчинні, ніж окислені (залізо, марганець та ін.). Як зменшення, так і збільшення потенціалу призводить до зростання концентрацій перемінно-валентних компонентів. Зниження E_h має своїм наслідком збільшення концентрацій Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , а його збільшення - зростання селену, цинку, міді, свинцю, кадмію [40].

Міські системи водопостачання та водовідведення. В даний час системи водопостачання та каналізації міст є невід'ємною та найважливішою частиною загальноміських інженерних комунікацій, що являють собою складні та масштабні споруди та включають, крім того, системи теплопостачання, газопостачання, електропостачання, телефонні кабельні лінії та ін.

«У США для типового міста із населенням 100 тис. чол. загальна довжина стічних колекторів сягає 840 км, у тому числі 426 км припадають будинкові приєднання; число оглядових колодязів становить 3485. У м. Нагоя (Японія) на початку 1990-х років функціонувало 15 станцій очищення стічних вод загальною потужністю 1780500 м³/добу, причому каналізаційним обслуговуванням було охоплено 89% міського населення. Водопостачання м. Гамбурга та його передмість забезпечується роботою 21 водозаборів, що експлуатують води трьох водоносних горизонтів» [40].

В загальному випадку системи водопостачання міст включають водозабірні споруди, насосні станції, водонапірні вежі або гідро пневмонічні пристрої, резервуари чистої води, водоводи, магістральні, розвідні та внутрішньоквартальні мережі, водозабірні колонки, охолоджувальні пристрої, оглядові колодязі, упори, переходи, дюкери та інші споруди. Аналіз особливостей систем водопостачання 34 найбільших міст світу, описаних у, показує наступне. Насамперед, у більшості їх джерелами водопостачання служать річки чи створені ними водосховища. Загальне питоме водоспоживання у містах змінюється від 200 до 800 л/добу на людину.

Коефіцієнти добової та годинної нерівномірності водоспоживання становлять понад 1,2 та 1,5 відповідно. Безпосередньо на потреби населення витрачається до 60-70% загальної кількості води, що поступає в системи водопостачання води (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Норми комунального водопостачання населених пунктів [38]

Ступінь благоустрою будівель	Норма, л/добу на одного мешканця		Коефіцієнт нерівномірності	
	Середньодобова протягом року	Максимальна доба	К _{доб.}	К _{год.}
Водопровід, каналізація, централізоване гаряче водопостачання	275-400	300-420	1,09-1,05	1,25-1,20
Водопровід, каналізація, ванни з газовими колонками	180-230	200-250	1,11-1,09	1,0-1,25
Водопровід, каналізація, без ванн	125-150	140-170	1,12-1,13	1,50-1,40
Без водопроводу та каналізації	39-50	40-60	1,33-1,20	2,00-1,80

Примітка. Верхня межа відноситься до південних, нижня - до північних районів.

Як правило, в колишньому СРСР в середньому до 85,5% свіжої води після її застосування в промисловості скидається у водні об'єкти, тобто коефіцієнт використання свіжої води дуже низький. Це є наслідком слабого розвитку систем оборотного використання води та її суттєвими втратами під час транспортування до споживача (так звані приховані витоки води). Зокрема, встановлено, що якщо рівень ґрунтових вод виявляється вище колектора водопроводу (або каналізації), то просочування води з нього може досягати 50-5000 л/добу/км/мм (на добу і на 1 км довжини і на 1 мм діаметра колектора) і до 400 л на добу - на оглядову криницю. У загальному випадку кількість прихованих витоків у системах подачі та розподілу води дуже різна і залежить від матеріалу та діаметра труб, від конструкції стикових з'єднань, від якості їх монтажу, періоду експлуатації, підготовки основи, характеру ґрунтів, коливань внутрішніх тисків та ін.. Величезна кількість стикових з'єднань, що досягає 100-160 на 1 км водопровідної мережі, апіорі зумовлює витікання води. Аналогічна ситуація типова для систем водопостачання

багатьох міст, де втрати свіжої води (головним чином через зношеність водопровідних мереж) становлять до 25-40% і більше від загальної водоподачі [38].

«У загальному випадку в містах існують дві групи джерел забруднення, що визначають основні способи поставки поллютантів у річки (рис. 1.1). Першу групу складають точкові джерела, що здійснюють скидання стічних вод у водотоки по системами каналізації (каналізаційний стік міста). У більшості міст таким основним джерелом є загальноміські очисні споруди, що приймають побутові та виробничі стічні води та скидають їх після очищення у водні об'єкти (загальноміський каналізаційний стік). У промислових містах відведення стічних вод, минаючи міську каналізацію, проводиться також із локальних очисних споруд підприємств (локальний каналізаційний стік). Якісні та кількісні характеристики каналізаційного стоку залежать від розміру міста та чисельності міського населення, особливостей промислової інфраструктури, використовуваних систем збору, очищення та відведення стічних вод» [38-40].

«Друга група поєднує неточкові (площинні) джерела забруднення: стік з території міста талих, дощових і поливо миючих вод, внутрішньогрунтовий стік і ґрунтовий стік (поверхневий стік з промислово-урбанізаційних територій). У деяких містах певне значення мають снігосплав (скидання снігу у водотоки), розвантаження забруднених підземних вод та водний транспорт. У силу відомих причин безпосереднє постачання поллютантів у річки з атмосферними випаданнями несуттєве, але вона, проте, відіграє важливу роль у формуванні якісного складу поверхневого стоку [17, 18, 23]. За наявності в містах дренажної мережі поверхневий стік з їхньої певної частини може накопичуватися в ставках-відстійниках і потім скидатися у водотоки (іноді з очищенням, головним чином механічним та від нафтопродуктів)» [38-40]. Проте, з погляду умов формування складу стоку, такий спосіб поставки поллютантів у водотоки також належить до групи неточкових джерел. Як правило, в дренажну (зливову) каналізацію надходять

дощові та поливомийні води. Якісні та кількісні параметри поверхневого стоку з міської території значною мірою визначаються гідрологічними особливостями міста, його розмірами, упорядкованістю, залежать від інтенсивності надходження забруднюючих речовин на поверхню, що підстилає, та її характеристик, що в свою чергу обумовлюються ступенем очищення промислових викидів, існуючими системами збору промислово-побутових відходів та санітарного прибирання міських територій [40].

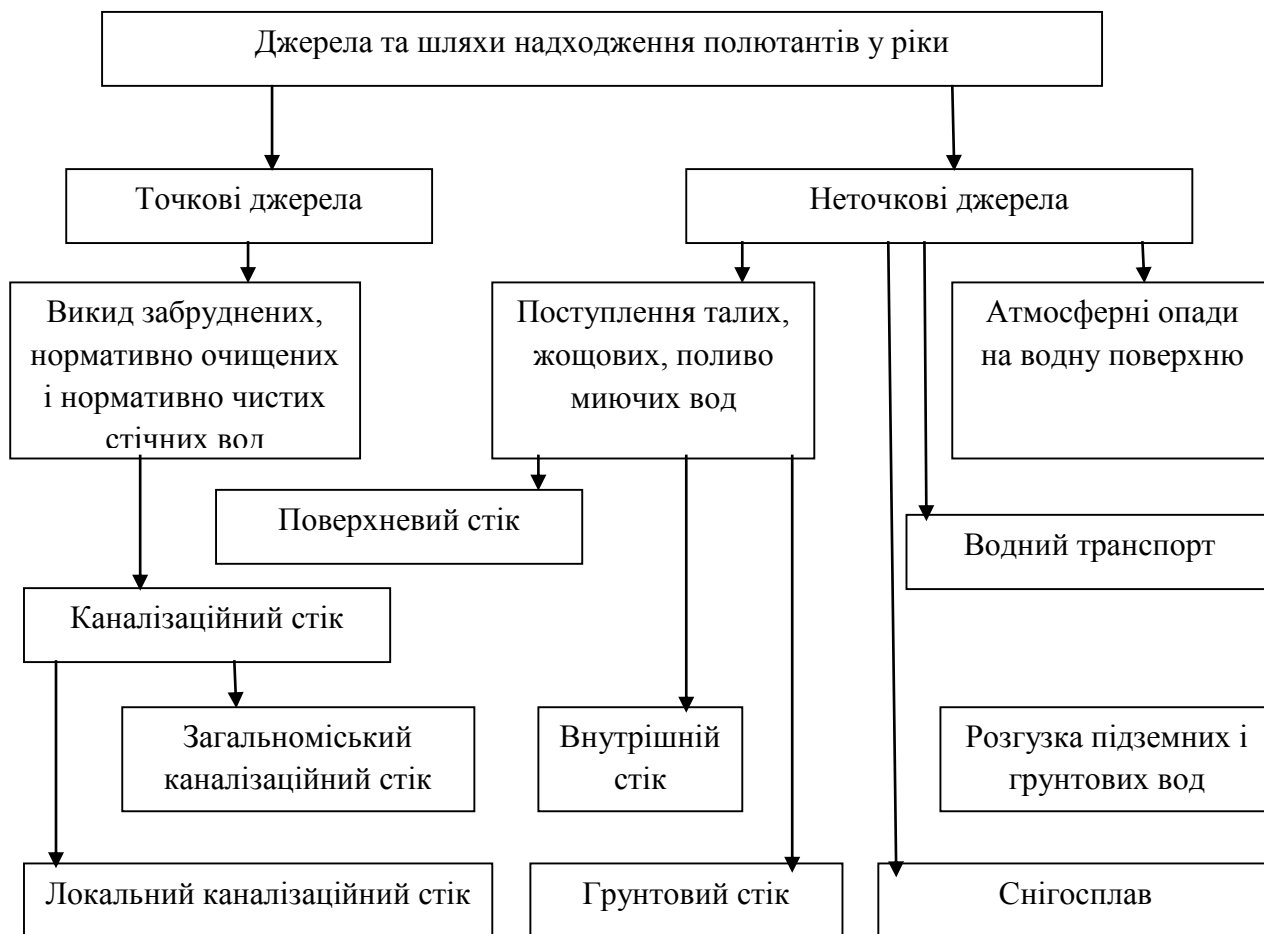


Рис. 1.1. Основні джерела та шляхи надходження поллютантів до міських річок [12].

Каналізаційний стік міста включає виробничі стічні води та господарсько-побутові стічні води. У деяких містах у систему каналізації надходить і поверхневий стік з промайданчиків підприємств та з території міста (так звані поверхнево-зливові стоки). В офіційних статистичних документах відведені в межах міст стічні води зазвичай поділяють на

забруднені, нормативно очищені, нормативно чисті стічні води (наприклад, від охолоджувальних агрегатів). Як зазначалося, для прийому, очищення, знезаражування і відведення стічних вод за межі промислових підприємств і населених пунктів створюються системи каналізації, що є складним комплексом інженерно-технічних споруд та пристроїв. Розрізняють роздільну (повну та неповну), напівроздільну, комбіновану та загальносплавну системи водовідведення. Найчастіше видалення стічних вод здійснюється самопливом. Насосні станції зазвичай споруджуються перед очисними спорудами чи окремих ділянках каналізаційної мережі, особливо у районах зі складним рельєфом [5, 28].

При повній роздільній системі прокладають дві самостійні підземні мережі труб і каналів, з яких одна служить для відведення побутових та забруднених виробничих стічних вод, а друга - для відведення поверхневого стоку (талих, дощових, поливомийних вод). При неповній роздільній системі поверхневий стік відводиться по відкритих лотках та каналах. Перша мережа називається виробничо-побутовою (транспортування стоків на очисні споруди), друга - зливової (по якій, як правило, здійснюється скидання стоків у найближчі водні об'єкти). Слід зазначити, що в мережу дощової каналізації поряд з водами поверхневого стоку (дощових, талих, поливомийних) у ряді випадків дозволяється скидати дренажні води, а також умовно чисті стічні води, тобто стоки, що утворюються, наприклад, при охолодженні виробничих установок тощо.

Напівроздільна система відрізняється від повної роздільної тим, що у її складі передбачається створення сплавного головного колектора, зазвичай розташованого вздовж водного об'єкта. Цей колектор приймає стічні води всіх категорій для їх транспортування на загальноміські очисні споруди. Нерідко в точках примикання до головного загальносплавного колектора вуличних колекторів, призначених для відведення поверхневого стоку, влаштовують камери розділення, через які при сильних зливах вода повністю або частково скидається в найближчий водний об'єкт без очищення. Вода, що

акумулюється вуличними дощовими колекторами при невеликих дощах і перші найбільш забруднені порції дощових вод за будь-яких дощів, а також талі та поливомийні води через розділові камери надходять у головний загальносплавний колектор і відводяться на очисні споруди. Залежно від району, місцевих умов та інших факторів, у тому числі внаслідок історичного розвитку водовідвідної системи міста застосовують різні комбінації систем водовідведення.

При загальносплавній системі по одній мережі труб та каналів (штучних чи природних) відводяться стічні води всіх категорій; спеціальних колекторів видалення поверхневого стоку у разі не влаштовують. Таким чином, при необхідності очищення поверхневого стоку така система суттєво поступається за основними показниками напівроздільної системи. У принципі, із середини 1980-х рр. в колишньому СРСР, згідно з існуючими тоді вимогами, поверхневий стік з міських територій перед його скиданням у водні об'єкти повинен був очищатися, проте ця вимога дотримувалася і зараз дотримується далеко не у всіх містах, оскільки в багатьох із них відсутня необхідна для цього дренажна мережа. У кращому випадку води поверхневого стоку попередньо акумулюються в ставках-відстійниках, де піддаються головним чином механічному очищенню, а потім скидаються в поверхневі водні об'єкти.

Для очищення та видалення виробничих стічних вод, що утворюються на промислових підприємствах, використовуються три основних способи:

1) індивідуальне очищення на заводських локальних очисних спорудах з подальшим скиданням у водні об'єкти;

2) скидання стоків (іноді попередньо очищених на локальних очисних спорудах) у міську каналізацію (з наступним надходженням на загальноміські очисні споруди, куди, своєю чергою, поступає побутовий стік міста),

3) комбінація зазначених способів.

Для очищення стічних вод застосовуються різні схеми і системи: попереднє очищення (видалення грубих включень, ґрати, флотація), первинне очищення (відстоювання в спорудах різного типу - ставки, первинні відстійники та ін.), проміжне (додавання перед відстоюванням коагулюючих речовин, хімічне осадження), вторинна (біологічна обробка стоків), третинна (або доочищення - коагуляція та відстоювання, адсорбція, електродіаліз, біологічна денітрифікація, зворотний осмос, відділення піни, іонний обмін, дистиляція).

Вторинна очистка забезпечує видалення 85-95% органічних речовин. Цей процес малоефективний щодо багатьох розчинених сполук, особливо металів, та біогенних елементів. Дезінфекція стоків проводиться шляхом хлорування (використовують рідкий хлор, гіпохлорат кальцію або натрію), при цьому рідкий хлор, розчиняючись у воді, утворює хлорну кислоту та іон гіпохлориту.

«У більшості випадків каналізаційний стік міста характеризується специфічним хімічним складом і високими вмістами твердих завислих речовин (техногенного осадового матеріалу). Основними мінеральними продуктами (техногенними відкладеннями), у значних обсягах які утворюють під час міського водопостачання і водовідведення, є промислові шлами, осади міських стічних вод та осади природних вод. Зазначені техногенні утворення є своєрідними аналогами осадової речовини, що надходить у водотоки міських ландшафтів і визначає хід та спрямованість процесів сучасного алювіального седиментогенезу в річках урбанізованих районів» [38-40].

Поверхневий стік з промислово-урбанізованих територій - дощовий, талий, поливомийний - є найважливішим джерелом постачання різних поліутантів у річки міських ландшафтів, у тому числі, техногенного осадового матеріалу. Основними джерелами живлення поверхневого стоку осадовим матеріалом є промисловий пил, що осідає на підстилаючу поверхню, вуличний пил, забруднені викидами і відходами міські ґрунти та

сніговий покрив, побутові та промислові відходи. П.-А. Малмквіст і Г. Свенссон [40] вважають, що склад дощового стоку досить добре передбачається, якщо відомі джерела забруднення та умови формування поверхневого стоку. Зокрема, вони вважають, що склад стоку визначається двома групами факторів - так званими залежними факторами (інтенсивність випадання пилю, дощових опадів, корозії) та незалежними факторами (особливості планування міста, ступінь розвитку транспорту та промисловості, топографія та геологія місцевості, кліматичні умови, характер землекористування). Проте, як правило, рівень навантаження хімічними компонентами поверхневого стоку залежить від багатьох факторів і серед головних: інтенсивність, періодичність і тривалість дощу або періоду сніготанення, рівень забрудненості атмосфери, якісний та кількісний склад аерозолів, характер планувальної структури поселень, особливості землекористування, інтенсивність транспортного руху, геолого-геоморфологічні умови території, рівень її благоустрою та технологія прибирання. Істотну роль відіграють щільність населення і наявність водонепроникних територій, що прямо відбиваються на рівнях утримання поллютантів у поверхневому стоку. Має значення також і площа водозбору, але в даному випадку з її збільшенням, як правило, знижуються питомі навантаження стоку забруднюючими речовинами (за рахунок розбавляючого ефекту атмосферних вод, акумулювання частини поллютантів у місцевих зниженнях рельєфу та дренажної мережі, а також через інфільтрацію) [40].

Загалом у межах міських територій формується складна генетична структура стічних вод, але, нерідко, провідна роль належить стічних вод з загальноміських очисних споруд. У прикладі велика роль стоків ТЕЦ (типова для багатьох міст ситуація), в більшості випадків відносяться до категорії нормативно-чистих. Третю позицію займає зливовий (поверхневий) стік із селітебних територій. Частка локального каналізаційного стоку (від підприємств) невелика, хоча дуже часто саме він характеризується найвищими вмістами багатьох поллютантів. Поверхневий стік із міських

територій є важливим джерелом надходження у водні об'єкти техногенного осадового матеріалу (табл. 1.9).

Водний баланс міста та його складові. Великі обсяги водоспоживання і, відповідно, водовідведення у містах зрештою призводять до того, що структура водного балансу міських територій, особливо найбільш урбанізованих їх частин, зазнає істотних змін, але це, своєю чергою, позначається на характері їх речового обміну. Як правило, водоподача та водовідведення (включаючи поверхневий стік з міської території) є головними елементами водного балансу міст та міських агломерацій. Важливо відзначити, що змінюються і природні складові водного балансу промислово-урбанізованих територій, особливо за рахунок збільшення обсягів поверхневого стоку, зниження частки підземного стоку та зменшення випаровування.

Таблиця 1.9

Вміст завислих речовин у поверхневому стоку з міських територій [1, 2, 8]

Характеристика водозбору	завислі речовини, г/л
Сучасна житлова забудова	1,4-1,5
Недостатньо упорядковані території з переважанням індивідуальної забудови	1,8-2,5
Центральні, впорядковані райони з інтенсивним рухом транспорту та пішоходів	1,7-2,2
Райони великих промислових підприємств	1,7-2,5
Селітебні райони з наявністю схилів, що еродують або будмайданчиків	4-6

Каналізаційний стік міст вже стає важливою складовою водних балансів великих річкових басейнів і основним (нерідко єдиним) постачальником багатьох забруднюючих речовин у річки великих регіонів. Наприклад, у Польщі з містами пов'язано утворення близько 82% стічних (очищених) вод і близько 86% неочищених стоків, а також 82% пилового забруднення та 74,9% газових викидів [40].

В даний час в межах міських ландшафтів водний стік багатьох струмків і малих річок практично повністю формується за рахунок промислових і

побутових стічних вод, що надходять в них, або забрудненого поверхневого стоку води. В залежності від водності малих і середніх рік, що визначається гідрологічним сезоном в водність року, стічні води становлять від 15-20 до 50-80% загального річкового, стоку і значною мірою визначають геохімічні, особливості та екологічний стан водотоків. Стік великих річок, що протікають промислово-урбанізованими районами, в середньому на 10% складається з стічних вод, що надходять (різного ступеня очищення) [14, 22, 38].

Зменшення випаровування, збільшення поверхневого стоку з міських територій і великі обсяги стічних вод, що відводяться, незважаючи на певне зниження частки підземного стоку, як правило, сприяють зростанню водності річок на виході з міст.

Зазвичай у малих і середніх містах спостерігається менше збільшення стоку на одиницю приросту непроникних площ (від 25 до 50% порівняно з природними водозборами), ніж у великих і найбільших містах (тут стік збільшується на 50% і більше).

Водночас відомі випадки, коли водний стік річок на виході з міст помітно знижується, що пов'язано з вилученням поверхневих вод на різні потреби міста та населення.

«Слід зазначити, що урбанізація території нерідко сприяє збільшенню повторюваності паводків і збільшенню їх висоти [21, 39, 40], а також значному зростанню як загальних обсягів дощових стоків, так і їх пікової потужності [39]. Дані спостережень за зливовим стоком на урбанізованих територіях показують, що максимальні витрати на невеликих водозборах можуть зростати вдсятеро [40]. Дослідження, виконані у Польщі, встановили, що на території міських агломерацій збільшується поверхневий стік, особливо під час паводків [36, 40]. Тим не менш, незважаючи на видимий характер яскравішої вираженості весняних паводків у містах, тут простежується тенденція внутрішньорічного вирівнювання стоку через

надходження стічних і поливомийних вод, а також за рахунок збільшення поверхневого стоку з урбанізованих територій» [24, 34, 40].

Фактори, що діють на водозборах, основний вплив мають найчастіше не на річний стік малих і середніх річок, а на його внутрішньорічний розподіл, на екстремальні характеристики стоку, а також на якість вод. Зокрема, залежно від конкретних умов такі фактори впливають на річковий стік у різних напрямках, тобто можуть збільшувати або знижувати його. В даний час величина антропогенних (техногенних) масопотоків вод стала порівнянна з масопотоками природних вод і, наприклад, вже майже в 2 рази перевищує підземний стік через берегову лінію океанів та морів (табл. 1.10). У формуванні антропогенних масопотоків вод велика роль належить водному господарству міст. При цьому, велика частина води, що забирається на побутові та промислові потреби, у зміненому (забрудненому) вигляді повертається назад, що призводить до зміни гідрологічних та гідрохімічних характеристик водних об'єктів. Значна маса води (до 80%), витрачена на сільськогосподарські потреби, в основному на зрошення, втрачається на випаровування, що також серйозно впливає на формування гідрологічного балансу освоєних територій.

Таблиця 1.10

Основні масопотоки природних вод антропогенного походження [38]

Водоспоживання	Вилучення	Викид
	км ³	км ³
Населенням	245,3	207,6
Промисловістю	1065	1011
Сільським господарством	2448	510
Водосховищами	165,5	95,0
Усього	3923,8	1823,6

1.2. Управління водними ресурсами на урбанізованих територіях

«Управління водними ресурсами на урбанізованих територіях – широкий термін, що включає управління водокористуванням, збереження води і вплив на водне довкілля міських територій. Урбанізація впливає на

водні ресурси і довкілля. Інтегроване управління водним господарством урбанізованих територій – цей розвиток системи водопостачання з використанням підходів, що об'єднують міське планування із стійким розвитком. Як частину міського планування, інтегроване управління водними ресурсами на урбанізованих територіях признано найбільш відповідним механізмом забезпечення об'єктів інфраструктури і міських служб водою і управління міськими забрудненими стічними водами, включаючи зливовою стік» [44].

Джерела води та вплив на них. Проектування, технічне обслуговування та управління дренажними системами прийому зливових вод значною мірою залежить від походження вод, яке на урбанізованій території може бути таким:

- стік із вищерозташованих територій;
- стік із прилеглих територій;
- ґрунтовий (базисний) стік;
- стік від опадів, що випадають над територією, що розглядається;
- припливи та нагони;
- стічні води (комунально-побутові, промислові тощо).

Затоплення, спричинені стоком води з сільськогосподарських територій, а також високопідземними водами, розглядаються в інших розділах.

Міське та промислове водопостачання та управління водним господарством пов'язані з міським дренажем як джерела забруднених (комунально-побутових та промислових) стічних вод. Постійні спостереження повинні бути встановлені за добовими змінами кількості та якості стічних вод від цих джерел, оскільки вони служать як вхідна інформація при:

- проектування дренажної системи, її технічне обслуговування та ремонт;
- проектування та управління водоочисними спорудами;
- оцінки впливу забруднених і очищених стічних вод на водні об'єкти, що їх приймають.

Моніторинг та управління підземними водами на урбанізованих територіях дуже важливі через різноманітність способів, за допомогою яких людина впливає на їхній баланс та якість. Підземні води часто є основним джерелом питної води на урбанізованих територіях. Однак поповнення запасів підземних вод на урбанізованих територіях зазвичай нижче через зростаючу відсоткову частку непроникних для вологи площ, що обумовлює нижчі швидкості інфільтрації та швидший поверхневий стік. Крім того, підземні води на урбанізованих територіях схильні до забруднення як від точкових, так і від розсіяних джерел [44].

Цілі інтегрованого управління водним господарством на урбанізованих територіях. Цілі об'єднаного управління водним господарством урбанізованих територій такі:

- забезпечення відповідної кількості та якості питної та промислової води за оптимальних економічних умов та з мінімальним несприятливим впливом на навколишнє середовище;
- мінімізація забруднення та інших несприятливих впливів на довкілля, включаючи несприятливі зміни рівнів підземних вод;
- зниження витрат, пов'язаних із затопленням, та збитків, викликаних зливами, шляхом створення відповідного зливового дренажу, заснованого на поєднанні покращеної дренажної мережі та регулювання стоку в реальному масштабі часу за допомогою допоміжних споруд (накопичувальні та скидні ємності), насосні та систем оповіщення;
- зниження несприятливих впливів очищених та неочищених міських вод (комунально-побутових, промислових та зливових) на водоприймачі.

Управління міськими дренажними системами у процесі досягнення цих цілей вирішує такі завдання:

- визначення впливу урбанізації на витрату та якість вод басейну за альтернативних сценаріїв та різної повторюваності;
- проектування та здійснення контрольних заходів та випробувань зливового дренажу для зниження впливу на довкілля;

- Здійснення цих заходів шляхом раціонального регулювання.

Вплив урбанізації. Дренажні басейни урбанізованих та сільськогосподарських територій різні багато в чому:

- види землекористування відрізняються і зазвичай надійніше визначаються, ніж щодо природних водозборів;
- відсоток непроникних для вологи поверхонь вищий;
- якщо не застосовуються спеціальні методи зниження стоку, паводки утворюються швидко з високими максимумами;
- вода дренується з водозбору за допомогою поєднання поверхневих колекторів та підземних дренажних систем;
- дренажні басейни на урбанізованих територіях зазвичай невеликі, але у великих міських районах вони більші, зі складними системами заглиблених трубопроводів, насосних станцій, а останніми роками й великих підземних сховищ [44].

Розвиток урбанізації змінює характер використання земель (різко збільшуючи частку водонепроникних територій, таких як дахи, вулиці та численні паркування. Урбанізація тягне за собою створення штучних дренажних систем, таких як трубопроводи та канали, які перетворюють гідрологічний цикл за рахунок збільшення поверхневого та зменшення підземного стоку. При цьому зростають як максимальні витрати, так і повторюваність паводків. При більш високих швидкостях стоку з урбанізованих територій переміщується велика кількість твердого стоку, наносів та сміття, забруднюючих речовин, що веде до погіршення характеристик якості водоприймачів [44].

Після освоєння урбанізованої території твердий стік, виготовлений у басейні, утворюється в основному наносами та твердими відходами, що змиваються з міських територій. У цьому випадку загальна кількість твердого стоку залежить від частоти збирання твердих відходів та частоти збирання вулиць, а також від гідрологічних факторів, таких як частота випадання дощів.

У дощові дні поверхневий змив здебільшого складається зі сміття та інших поверхневих забруднюючих речовин.

Поширення багатьох хвороб може бути пов'язане із незадовільним управлінням водними ресурсами. У вологих тропіках до хвороб та симптомів, зумовлених незадовільністю водопостачання, санітарії та дренажних систем, відносяться діарея, холера, малярія, лихоманка денге та лептоспіроз. Умовами навколишнього середовища, пов'язаними дренажем, які сприяють поширенню малярії, є застійні зони, знеліснення, ерозія ґрунтів та паводки. Лихоманка денге - хвороба, що зустрічається в теплому кліматі, яка поширюється москітами, що мешкають у чистій застійній воді, яку запасують у будинках або поряд з ними (покришки, вази і т. д.) протягом сезону дощів. Ставки або місцеві системи затримання води в таких кліматичних умовах повинні бути ретельно спроектовані та контролюватись, щоб не допустити ситуацій, що сприяють поширенню такого виду інфекційного захворювання [44].

Проектування міського зливового дренажу. Основними конструкційними одиницями каналізаційних систем є водостоки, трубопроводи, канали та засоби затримання та збереження стоків. Гідрологічне проектування цих об'єктів ґрунтується на обчисленні максимальної витрати інтегрального гідрографа, що показує піки паводків та обсяги. Методи проектування, як правило, засновані на припущенні, що враховує співвідношення опадів та стоку. Існують два основні методи:

- раціональний метод, який оцінює тільки максимальну витрату та приймає коефіцієнт стоку та інтенсивність випадання дощових опадів за будь-який проміжок часу постійними. Це цілком обґрунтовано для басейнів, менших 2 км²;

- метод розрахунку гідрографа стоку, що дозволяє визначити максимум та обсяг паводку. Він є важливим для водоймищ і враховує наявність великих урбанізованих басейнів.

Ці методи оцінки максимальної витрати та обсягу паводків значною мірою ґрунтуються на даних про розрахункову зливу, землекористування на розташованій вище за течією території та інших характеристиках басейну [44].

Розрахунок зливи. Міські території схильні до впливу злив, які повсюдно мають стохастичну природу. Тому проектування дренажних систем ґрунтується на розгляді злив певного періоду повторюваності. Шар дощових опадів певного періоду повторюваності зазвичай визначається за кривими: інтенсивність опадів-тривалість-повторюваність, складені для багатьох міст. Вибір періоду повторюваності для прогнозування зливи з подальшим використанням його для аналізу методом осідання – стік залежить від значення території, яку потрібно захистити, та розміру можливої шкоди, до якої може призвести повінь.

Інтенсивність випадання опадів значно змінюється від помірного клімату до вологого тропічного [44].

Управління дренажними системами на урбанізованих територіях в умовах такої високої зволоженості вимагає використання більш коротких періодів повторюваності для проектування за більш високого ризику повені.

Розвиток басейну. При моделюванні міської дренажної системи має враховуватися розмір та рівень розвитку урбанізованої території. Крім того, моделювання знадобиться на стадії визначення діапазону масштабів системи. В основному дренажні системи є поєднанням головних та другорядних дренажних мереж. Останні використовуються для дренажу невеликих територій ($\leq 2 \text{ км}^2$), таких як промислові зони або кондомініуми, тоді як системи першого порядку складаються з великих магістральних дрен та/або головних міських водотоків. Розташовані вище за течією частини басейнів цих головних водотоків можуть містити як урбанізовані, і не урбанізовані території [44].

На розвинених урбанізованих територіях дренажна система добре налагоджена, тоді як на нерозвинених територіях діє натуральне дренажування.

Досліджуючи майбутні сценарії освоєння басейнів нерозвинених районів, необхідно отримати загальний вигляд дренажної системи із плану розвитку території.

У країнах, де немає зростання міст у зв'язку зі стабілізацією рівня населення, як у деяких європейських містах, сценарії майбутньої урбанізації пов'язані з покращенням існуючої дренажної системи та якості води. Разом з тим у більшості країн, що розвиваються, урбанізація носить динамічний характер і часто не піддається контролю. Дуже складно керувати потенційними впливами такого розвитку на стік, щоб не допустити деградації навколишнього середовища та зростання загрози паводків [44].

Будь-який розрахунок витрати води на урбанізованій території має бути заснований на показниках існуючої первинної та вторинної систем дренажу та, крім того, на аналізі ймовірних чи запланованих сценаріїв розвитку урбанізованої території у майбутньому. Обчислення максимальної витрати для невеликих дренажних площ в основному проводиться з використанням раціонального методу, незважаючи на його обмеженість у зв'язку з просторово-часовою мінливістю гідрологічних процесів (Heaney and others, 2002). Вибір підходу визначення основних компонентів дренажної системи залежатиме від ступеня розвитку басейну [44].

Нерозвинені території, що розвиваються: басейн, який на даний момент нерозвинений або в якому належить зростання урбанізації, не матиме складного планування вулиць і первинних дренажних систем, але матиме план розвитку, заснований на щільності населення у вигляді генерального плану розвитку міста. Можуть бути отримані емпіричні співвідношення між щільністю населення та площею водонепроникних територій для вибору розрахункової кривої частки водонепроникної території (AI). Такі співвідношення були отримані для трьох найбільших міст Бразилії: Сан-Паулу, Курітіба Порто-Аллегре (Campana and Tucci, 1994), які призвели до наступного рівняння:

$$AI = 0,489 DN, \quad (1.1)$$

де DN - щільність урбанізації, що дорівнює кількості жителів на гектар території. Таке співвідношення застосовується для Бразилії, оскільки $DN < 130$ мешканців/га. При великих значеннях щільності приймається величина водонепроникної поверхні 65 відсотків. Це співвідношення застосовується для площ більше 2 км^2 , а для менших площ існує можливість спотворення.

Розрахунок максимальної витрати. Розрахункова максимальна витрата може бути визначена такими методами:

- за частотою повторюваності витрати, визначеної рядами стоку репрезентативної довжини;
- за емпіричними рівняннями, отриманими внаслідок регіонального аналізу витрат паводків;
- за розрахунковим гідрографом стоку, отриманим з використанням моделі опади-стік.

При застосуванні методу (а) потрібні значення вимірних репрезентативних витрат максимальних паводків. Такі дані не завжди доступні, а отримання вимірних характеристик паводків може бути ускладнене через урбанізації басейну. Застосування методу (b) вимагає отримання емпіричних рівнянь для конкретних регіонів, що базуються на даних регіону. Загалом рекомендується використовувати ці рівняння лише тих районів, котрим вони були отримані. Використання моделі осідання – стік (с) є найпоширенішим методом оцінки максимальної витрати та побудови гідрографа дощу при певному періоді повторюваності. Такий підхід рекомендує найпростіші методи для малих басейнів. Вони дають значення максимальної витрати, як і раціональний метод, описаний нижче. У інших підходах зроблено спроби визначення як максимальних витрат, і тимчасового ходу витрат, виробляючи, в такий спосіб, побудова розрахункового гідрографа паводка. Докладніше ці методи також описані нижче [44].

Раціональний метод. Для малих басейнів може бути використаний метод, заснований на простому співвідношенні між кількістю опадів та максимальною витратою паводку, відомий як раціональний метод. У ньому використовується наступне лінійне рівняння для визначення максимальної витрати:

$$Q=0,278 \cdot C \cdot I \cdot A, \quad (1.2)$$

де Q - витрата в м³.с-1, C - коефіцієнт стоку; I - інтенсивність дощу в мм/год, A - площа басейну км². Інтенсивність дощу вибирається відповідно до періоду повторюваності T (зазвичай 2–10 років у другорядних дренажних системах) та тривалості дощу t . T - залежить від конструкторського рішення та характеристик планованої моделі. У раціональному методі t відповідає часу концентрації стоку на басейні [44].

Час концентрації (t_c) являє собою суму часу інфільтрації води потоку, що протікає по поверхні басейну, поки він не досягне водо-впуску (t_b), і часу проходження через трубопроводи та природні та штучні канали (t_r):

$$t_c = t_b + t_r. \quad (1.3)$$

Значення t_b можна визначити за емпіричними рівняннями, отриманими для поверхневого стоку.

Коефіцієнт стоку: цей коефіцієнт (C) є відношенням сумарного шару поверхневого стоку з басейну до сумарного обсягу розрахункового дощу над ним. Він є функцією, окрім залежності від інших факторів, інтенсивності дощу, його просторово-часового розподілу, рівня розвитку урбанізації та характеристик ґрунту. Обчислення середнього для площі дренавання значення C істотно спрощено, проте враховує уявлення про її водний баланс і вплив урбанізації [44].

При проектуванні цей коефіцієнт обчислюється за допомогою представлених у літературі таблиць (ASCE, 1992). Для періодів повторюваності більше 10 років коефіцієнт може бути змінений множенням C_f , представлений у таблиці 1.1.

Коефіцієнт стоку з басейну може бути обчислений із співвідношення між значеннями водопроникних та водонепроникних площ. Середньозважене значення може бути обчислено як:

$$C = C_p + (C_i - C_p)AI, (1.4)$$

де C_p - коефіцієнт для водопроникних площ, а C_i - коефіцієнт для водонепроникних площ; $AI = A_i/A_t$ є співвідношення між величиною непроникної площі до всієї площі.

Таблиця 1.11

Нормальний діапазон значень коефіцієнтів стоку [39, 40]

<i>Характер поверхні</i>	<i>Коефіцієнт стоку C</i>
Покриття	
– асфальт та бетон	0,70–0,95
– цегла	0,70–0,85
– дахи	0,75–0,95
Газони, пісчаний ґрунт:	
– плоска поверхня (2 %)	0,05–0,10
– середньонахилена (2–7 %)	0,10–0,15
– крута (> 7 %)	0,15–0,20
Газони, важкий ґрунт	
– Плоска поверхня (2 %)	0,13–0,17
– середньонахилена (2–7 %)	0,18–0,22
– крута (> 7 %)	0,25–0,35

Застосування цього рівняння до 44 невеликих урбанізованих басейнів США дозволило отримати таке співвідношення (39, 44):

$$C = 0,05 + 0,9 AI (1.5)$$

з коефіцієнтом кореляції R^2 , що дорівнює 0,71. Використані гідрологічні дані були отримані за дворічним рядом, значення коефіцієнтів можуть бути віднесені до періоду повторюваності 2 роки (Urbanas and Roesner, 1992). У цьому рівнянні, якщо AI прийняти рівним 1,0, то C становитиме 0,95, що відповідає коефіцієнту водонепроникності 0,95 та втрат 5 відсотків. Втрати

можуть виникнути внаслідок затримання стоку у пониженнях земної поверхні, випаровування з нагрітих поверхонь, початкових умов змочування, інфільтрації, поверхневого перехоплення та помилок вихідних даних.

Дослідження 11 басейнів площею від 3,4 км² до 106 км² з частками водонепроникних площ від 1 до 51 відсотка у Бразилії (Туссі, 2001) дало наступний результат:

$$C = 0,047 + 0,9 AI \quad (1.6)$$

Моделювання зливого стоку. Ці методи засновані на моделях опади-стік, які розраховують гідрограф паводкового стоку за даними про дощові опади для обраного періоду повторюваності та за певний час при заданому просторовому розподілі. Крім кількості дощових опадів повинні бути відомі, крім того, вихідний стан змінних моделей, параметри моделі та інші характеристики басейну. Період повторюваності повині зазвичай приймається рівним періоду повторюваності дощу. Однак можливе застосування підходів, що дозволяють стохастично змінювати значення інших вхідних параметрів, наприклад втрати дощового стоку і тимчасових структур [36, 39, 40].

Такі моделі найчастіше містять два основні модулі: гідрологічний модуль та гідравлічний модуль. Гідрологічний модуль застосовується для обчислення сумарного стоку схилу за проміжок часу. Гідравлічний модуль застосовується для просторово-часового розрахунку руху цього обсягу води вулицями, трубопроводами, каналами і через водойми.

У гідрологічному модулі застосовуються такі інструменти розрахунку:

- коефіцієнти, як і у раціональному методі;
- рівняння інфільтрації, як, наприклад, рівняння Хортон, Гріна та Ампта;
- емпіричні співвідношення, подібні до встановлених Службою охорони ґрунтів (СОП) Міністерства сільського господарства США, в даний час відомої як Служба охорони природних ресурсів. Перша група методів краща, коли модель застосовується до інтенсивності прояву дощу більшою або меншою за ту, яка була використана при виробленні моделі. Друга та третя

групи методів більш надійні та використовуються в таких моделях, як вищеописана модель СОП (SCS, 1975) та НЕС-1 (Feldman, 1995). Основне спрощення цих моделей полягає у використанні однорідного просторового розподілу параметрів та дощових опадів у кожному підбасейні [36, 39, 40].

Гідравлічний модуль може бути представлений такими типами рівняння:

- рівняння збереження та переміщення кінематичної хвилі, в яких застосовані два нескладні спрощення: вони застосовуються для потоків з вільною поверхнею в трубах і каналах, але не враховують зворотні зв'язки, які дуже поширені на урбанізованих територіях;

- рівняння дифузії та гідродинаміки для потоку з вільною поверхнею: такий тип моделей бере до уваги зворотні зв'язки, але ці рівняння не можуть застосовуватися для напірних потоків, що виникають при швидкості більшій, ніж передбачено проектними умовами;

- рівняння гідродинаміки для напірного руху в трубах та з вільною поверхнею. Ця модель в основному використовується для оцінки сценаріїв та подій, що виходять за межі умов проекту.

Ці моделі націлені на відображення відмінностей на водонепроникних площах підбасейну, характеристик поверхневого стоку, відмінностей у часі стікання в межах підбасейну та руслових ефектів у каналах та водотоках. При динамічній урбанізації протягом якогось часу для оцінки впливу змін щільності урбанізації, що відповідає сценаріям розвитку в майбутньому, слід використовувати моделі, що враховують відношення між водонепроникними площами та щільністю урбанізації [36, 39, 40].

Заходи контролю міського дренажу. Основними цілями міського дренажу є зниження повторюваності повеней та покращення якості води. Управління міською зливовою каналізацією здебільшого пов'язане з розподілом обсягів води в часі та просторі в межах міського басейну з урахуванням рівня урбанізації, гідравлічних мереж та умов довкілля [44].

Ключовими заходами контролю або заходи, пов'язані з будівництвом споруд, або заходи, які пов'язані з будівництвом споруд.

Заходи, пов'язані з будівництвом споруд: роботи, призначені для регулювання впливу паводків на головну дренажну систему в рамках заданого сценарію міського розвитку. Зазвичай вони полягають у поліпшенні стану каналів та ставків для затримання води.

Заходи, не пов'язані з будівництвом споруд: регулювання землекористування та інші заходи регуляторного характеру, спрямовані на зниження загрози паводків та їх попередження, включаючи прогнозування випадання дощових опадів у масштабі реального часу та ймовірні наслідки передбачуваного паводку. Нормативні вимоги міського дренажу можуть застосовуватися для обмеження максимальних паводків у нижній течії річки та зменшення ступеня погіршення якості води, враховуючи соціально-економічні умови. Основними моментами цього типу регулювання є збереження максимальних витрат води при подальшому міському розвитку на рівні рівному або нижче того, який спостерігався в період до сценарію розвитку, що розглядається, і встановлення в кожному випадку граничних величин площ водонепроникних територій. Участь населення є надзвичайно важливою умовою ефективного регулювання та має включати підвищення обізнаності населення та освітні програми.

Першочергові заходи контролю територій, що розвиваються, були включені в систему нормування в багатьох країнах (Urbonas and Stahre, 1993). Першочерговий контроль включає забезпечення заходів для створення запасів води поблизу джерела стоку, зменшуючи необхідність її транспортування вниз за течією (Urbonas and Stahre, 1993). Першочерговому контролю піддаються водопроникні дорожні покриття та території паркувань, басейни інфільтрації та канали [44].

Управління міським дренажем. Досвід планування міських дренажних систем, отриманий у багатьох країнах, дозволив сформулювати кілька загальних принципів управління міським дренажем (Urbonas and Stahre, 1993):

- управління має бути засноване на генеральному плані міської дренажної системи місцевого органу управління;
- участь населення в управлінні міським дренажем має бути розширена;
- сценарії регулювання міського дренажу мають враховувати розвиток міста у майбутньому;
- розвиток міської дренажної системи має ґрунтуватися на відшкодуванні витрат на капітальні вкладення;
- оцінка протипаводкових заходів має виконуватися в масштабі всього басейну, а не лише для характерних ділянок течії;
- протипаводкові заходи повинні надавати пріоритет першочерговим заходам регулювання паводків, а не переносити вплив паводку на ділянки вниз за течією;
- більше уваги слід приділяти заходам протипаводкового контролю на затоплюваних територіях, не пов'язаних із будівництвом споруд, таким як зонування паводків, страхування та прогнозування паводків у масштабі реального часу;
- слід робити кроки для зменшення наслідків стоку змиву з міських територій, а також для вирішення інших проблем якості вод, що надходять до міського дренажу.

У багатьох країнах практика міського дренажу не задовольняє цим принципам. Основні причини полягають у наступному:

- урбанізація відбувається надзвичайно швидко та непередбачувано. У випадку урбанізація починається з територій, розташованих у пониззі, і потім просувається вище за течією, що потенційно збільшує ризик шкідливого впливу;
- приміські райони здебільшого розвиваються без урахування міських і правил, або таких і правил просто немає;
- приміські райони і схильні до небезпеки паводків території - заплавні заплави і горбиста місцевість - заселені сім'ями з низьким доходом і не мають стаціонарних об'єктів інфраструктури. Спонтанна забудова в районах

підвищеної небезпеки, що розташовані у вологій тропічній зоні, може спостерігатися в наступних містах: на землях, схильних до затоплення — Бангкок, Бомбей, Гуаякіль, Лагос, Монровія, Порт-Моресбі та Ресіфі; на схилах, схильних до зсувів - Каракас, Гватемала Сіті, Ла-Пас, Ріо-де-Жанейро і Сальвадор де Байя (WHO, 1988);

- відсутність належних систем збору та переробки сміття призводить до забруднення води та засмічення дренажних труб. У деяких африканських державах міська каналізація відсутня, а за відсутності стаціонарної системи дренажу природні шляхи дренажних вод часто заповнюються сміттям та твердими відкладеннями (Desbordes and Servat, 1988);

- відсутність інституційної структури як основи розвитку міської дренажної системи на муніципальному рівні, внаслідок чого відсутність регулювання, нарощування потенціалу і слабке адміністрування [44].

Практика керування. Основні вимоги політики в галузі управління міськими дренажними системами можуть бути узагальнені у такому вигляді:

- управління забезпечує, щоб урбанізація не створювала умови для збільшення паводків заданого періоду повторюваності у межах басейну;
- резервуються міські території для утримання паводкових вод або створюються парки в межах річкової долини для акумулювання обсягів паводків, наносів та сміття, а також для покращення якості води. У разі неможливості контролювати будь-які види впливу урбанізації в районах вище за течією річки у зв'язку з недостатністю нормативно-правової бази правила дренажу міських територій можуть бути використані для мінімізації впливу на ділянках внизу за течією. Замість відкладення твердих відходів і наносів у трубопроводах або на берегах річок і каналів вони можуть збиратися в певних місцях для очищення, тим самим знижуючи експлуатаційні витрати. Однак у багатьох випадках такий підхід не є найкращим рішенням; у кожному даному випадку слід враховувати локальні умови. Подальші методичні рекомендації щодо такої форми інтегрованого

управління земельними та водними ресурсами на міських територіях підготовлені, зокрема, Лоуренсом (Lawrence, 2001);

- якщо рішенням щодо регулювання паводків в основній дренажній мережі є використання зливових колекторів або підвищення пропускної спроможності каналів, то необхідно розробити план або проект, щоб оцінити та обмежити вплив зливових колекторів або збільшеної пропускної спроможності каналів нижче за течією [44].

Грунтуючись на цих принципах, управління міським дренажем має поєднувати такі моменти:

- запобігання: планування міських територій з урахуванням дренажу затоплюваних територій міст, що розвиваються. Первинний контроль та заходи, не пов'язані з будівництвом споруд - ось основні заходи, які слід обирати на даному етапі планування;

- постійні інституційні елементи: регулювання другорядних дренажних систем з урахуванням збільшення максимальної повені; регулювання землекористування на заплавах; використання податкових стимулів як засобу захисту територій, що охороняються, та існуючих площ контрольного дренажу; громадські процедури перевірки та вдосконалення заходів регулювання, що відповідають локальним умовам; підвищений правоохоронний контроль на місцевому рівні на частково урбанізованій території;

- нарощування потенціалу: підвищення технічного потенціалу як місцевих, і державних службовців; створення покращених умов праці, щоб кваліфіковані професійні працівники не втрачали роботу; випуск настанови з міського дренажу; функціонування програм технічної освіти архітекторів та інженерів; загальна освіта населення щодо суті розглянутих питань;

- участь населення: використання громадської думки в рамках кампанії щодо залучення широких верств населення у планування споруд міського дренажу з урахуванням локальних потреб; консультування населення представниками недержавних організацій з питань планування та

конструювання міської дренажної системи на всіх етапах робіт; підвищення рівня поінформованості населення щодо впливу урбанізації на міський дренаж;

- більше гідрологічних даних: недолік гідрологічних і геофізичних даних належної якості - хронічна проблема урбанізованих територій у країнах, що розвиваються, що призводить до створення проектів, що характеризуються високою вартістю або незавершеністю. Програма вдосконалення системи збору даних та розробки методів їх застосування для отримання інформації про міський дренаж має велике значення для планування стабільної дренажної системи міської території;

- контроль впливу: можуть бути розроблені протипаводкові заходи, пов'язані з будівництвом споруд на урбанізованій території, що охоплюють послідовно підбасейни, з метою зменшення впливу урбанізації на кількість та якість вод. У процесі планування для оцінки ефективності заходів контролю можуть бути використані моделі опади-стік або якості води. Пов'язані з цими витратами зазвичай несе населення, що проживає на території водозбірного басейну, відповідно до величини водонепроникної площі їх земельної власності [44].

1.3. Сучасні методи контролю кількості атмосферних опадів.

Загальна кількість опадів, що досягають ґрунту за певний період часу, виражається висотою шару, яким вони покрили горизонтальну проекцію земної поверхні за умови, що та частина опадів, яка випала у вигляді снігу або льоду, розтанула. Кількість снігу, що випав, вимірюється також висотою шару свіжого снігу, що покриває рівну горизонтальну поверхню.

Головна мета будь-якого методу вимірювання опадів полягає в отриманні вимірювань, репрезентативних для території, до якої відносяться вимірювання. Гідрологія висуває суворі вимоги до точного виміру опадів. Тому важливими факторами є вибір місця для встановлення опадомірного

посту, його тип і розташування, а також запобігання втратам, викликаним випаровуванням, впливом вітру та розбризкуванням [44].

Розміщення опадомірних постів. При бездоганній установці опсадоміра зібрані ним опади становитимуть справжню кількість опадів, що випадають у цьому районі. Практично, однак, це важко досягти через вплив вітру, тому особливу увагу слід звертати на вибір місця для поста опадів.

Вплив вітру необхідно розглядати з двох точок зору: вплив вітру безпосередньо на прилад, у результаті зазвичай занижується кількість опадів; а також вплив самого посту на повітряний потік, що часто є важливішим і може призводити до надлишків або дефіциту опадів, що випадають у місці розташування посту.

Перешкоди, створювані вітровим перешкодою, залежить від співвідношення лінійних розмірів перешкоди і інтенсивності опадів. Вплив систематичної деформації вітрового поля може бути зменшено, якщо не повністю виключено, при дотриманні наступних умов: майданчик для встановлення приладу вибирається таким чином, щоб швидкість вітру на рівні прийомного отвору осадкомера була можливо меншою, але захист майданчика не повинен бути таким, щоб навколишні предмети знижували кількість опадів; оточення осадкомера таким, щоб потік повітря проходив над приймальним отвором опсадоміра горизонтально. Всі опсадоміри в даному районі або даній країні повинні бути встановлені в аналогічних умовах, і до їх розміщення слід застосовувати одні й ті самі критерії [44].

Опадомір повинен бути встановлений так, щоб його прийомний отвір було паралельно рівної горизонтальної поверхні ґрунту.

По можливості, вимірювальна ділянка повинна з усіх боків мати захист від вітру різними предметами (деревами, чагарником і т. д.) приблизно однакової висоти. Висота цих об'єктів над рівнем мірного отвору опадоміра повинна бути не менше половини відстані від опадоміра до предметів, що захищають, але не перевищувати цієї відстані (щоб запобігти перехопленню опадів). За ідеальних умов розміщення опадоміра кут між верхом опадоміра і

верхом об'єктів, що захищають, повинен становити від 30° до 45° до горизонтальної поверхні.

Для вітрового захисту опадомірів слід уникати використання таких пристроїв, як загородження у вигляді ряду дерев, оскільки вони збільшують турбулентність на вимірювальній ділянці. Не слід також влаштовувати щити або інший несучільний захист через різні, часто непередбачувані впливи на осадкомір. Якщо забезпечити прийнятний захист від вітру неможливо, слід простежити за тим, щоб окремі предмети знаходилися на відстані не ближче, ніж їх чотирикратна висота. Вибирати майданчик для установки опадоміра потрібно з урахуванням наведених обмежень, щоб уникнути похибок вимірювання, що спричиняє вплив вітру. Крім того, слід дотримуватись обережності, щоб обрана ділянка не вносила суттєвих спотворень у швидкість та напрямок вітру. Необхідно уникати обладнання майданчиків на схилах або у крутих укосів, що спускаються в одному напрямку (особливо якщо цей напрямок збігається з переважним напрямом вітру) [44].

Поверхня, що оточує опадомір, може бути покрита низькою травою, гравієм або галькою, але необхідно уникати твердих і гладких покриттів, наприклад бетонних, з метою запобігання зайвому попаданню бризок в опадомір.

Приймальний отвір опадоміра повинен бути якомога ближче до поверхні землі (бо швидкість вітру зростає з висотою), але в той же час його висота повинна бути достатньою, щоб уникнути попадань бризків з землі. У багатьох країнах, у тих районах, де випадає мало снігу і немає небезпеки, що навіть при сильній зливі ґрунт буде покритий калюжами, опадоміри встановлюються на висоті 30 см. Там, де не можуть бути дотримані перелічені умови, рекомендується встановлювати опадомір на стандартній висотою 1 м [44].

На дуже відкритих місцях, де немає природного захисту, можна отримати точніші результати при вимірюванні рідких опадів, якщо приймальний пристрій опадоміру встановлюється на рівні землі. Опадомір

повинен бути оточений міцними пластиковими ґратами або решіткою з нержавіючого металу, що захищає від розбризкування. Вона повинна складатися з тонких пластин заввишки приблизно від 5 до 15 см, встановлених вертикально на відстані приблизно від 5 до 15 см симетричним квадратом. Майданчик навколо опадоміра слід розрівняти у всіх напрямках у радіусі не менше 100 м.

Іншим менш ефективним способом є встановлення опадоміра в центрі круглого майданчика, обнесеної дерновою стінкою. Внутрішня поверхня має бути вертикальною з радіусом близько 1,5 м, зовнішня – нахилена до горизонту під кутом 15°. Верхній край стінки повинен знаходитись на рівні приймального отвору опадоміра [44].

Потрібно передбачити дренаж майданчика. Слід враховувати, що наземний опадомір призначений для вимірювання рідких опадів і його не можна використовувати для вимірювання снігу, що випав.

Іншим способом обладнання оточення опадоміра є постачання приладу різними видами вітрового захисту. При вдалій конструкції опадоміри з таким захистом дозволяють отримувати значно більш репрезентативні дані, ніж осадкомери без захисту, що повністю піддаються впливу вітру. Ідеальний захист повинен:

- забезпечити паралельність потоку повітря над отвором приладу;
- не викликати будь-яке локальне прискорення вітру над приймальним отвором опадоміра;
- наскільки можна зменшувати швидкість вітру, що ударяє в бічні стінки приладу; тоді менш важливою є висота приймального отвору опадоміра;
- не викликати потрапляння крапель дощу у вигляді бризок у приймальний отвір; при виконанні цієї умови висота приймального отвору над поверхнею ґрунту не має вирішального значення;
- не викликати утворення снігової шапки над опадоміром.

Опади у вигляді снігу схильні до несприятливих впливів вітру значно більшою мірою, ніж опади у вигляді дощу. У районах з особливо сильними вітрами кількість снігу, уловленого опадоміром з вітровим захистом або без неї, може становити менше половини дійсної кількості снігу, що випав. Майданчики, вибрані для вимірювання кількості снігу, що випав, і для спостережень за сніговим покривом, повинні знаходитися на ділянках, максимально захищених від вітру. Як було показано, захист від вітру, що влаштовується біля опадоміра, має бути досить ефективним, щоб звести до мінімуму похибки від вітрових впливів, особливо для твердих опадів. Однак до цього часу не розроблені надійні пристрої, які б повністю усували вітрові похибки вимірювання опадів [44].

Нереєструючі опадоміри. Нереєструючі опадоміри, що застосовуються більшістю державних гідрологічних і метеорологічних служб для звичайних вимірювань, найчастіше є відкритими приймальними судинами вертикальними стінками, зазвичай мають форму правильного циліндра. У різних країнах використовуються прилади різної висоти та з приймальними отворами різних розмірів, тому результати вимірювань, отриманих за їх допомогою, не цілком можна порівняти. Висота шару опадів в опадомірі вимірюється за допомогою градуйованої лінійки або мірної склянки. Якщо у опадоміра стінки неvertикальні, то опади вимірюються шляхом зважування, або шляхом визначення їх обсягу, або шляхом визначення їх шару за допомогою вимірювальної лінійки зі спеціальною шкалою [44].

Стандартні опадоміри. Опадомір, що використовується для щоденного вимірювання опадів, найчастіше складається з колектора, що поміщається над лійкою, з'єднаною з контейнером. Розміри отвору колектора не мають істотного значення. У деяких країнах застосовуються опадоміри з приймальним отвором площею 1000 см^2 , але, можливо, найбільш сприятливою буде площа $200\text{-}500 \text{ см}^2$. Площа приймальної судини може дорівнювати $0,1$ площі приймального отвору. Який би розмір колектора не був вибраний, градування вимірювального пристрою має обов'язково

відповідати йому. Найбільш важливі вимоги, що пред'являються до опадоміру, такі:

- обідок колектора повинен мати гострий край і бути строго вертикальним усередині та пологим зовні; конструкція снігомірів має бути такою, щоб помилки через скупчення мокрого снігу навколо обідка були незначні;

- площа приймального отвору повинна бути відома з точністю до 0,5 %, а конструкція опадоміру повинна бути такою, щоб ця площа залишалася постійною;

- колектор повинен бути сконструйований так, щоб не відбувалося розбризкування дощу з нього та попадання бризок до нього; цього можна досягти за умови, якщо вертикальна стінка досить висока і нахил вирви досить пологий (принаймні 45 °);

- контейнер повинен мати вузький вхідний отвір і бути достатньо захищеним від впливу сонячних променів, щоб звести втрати за рахунок випаровування до мінімуму;

- в умовах, коли частина опадів надходить у вигляді снігу, колектор повинен бути досить глибоким, щоб накопичувати опади, що надходять протягом доби; глибина колектора також важлива для запобігання видуванню уловленого снігу [44].

Опадоміри, призначені для установки в місцях, де відліки по них можливо проводити тільки один раз на тиждень або місяць, повинні бути подібні до пристрою з добовими опадомірами, але мати більш місткий приймальний посуд і міцнішу конструкцію.

Сумарні опадоміри. Сумарні опадоміри використовують для вимірювання загальної кількості сезонних опадів у віддалених, малодоступних районах. Вони складаються з колектора, поміщеного над лійкою, з'єднаною з контейнером, обсяг якого достатній для того, щоб вмістити сезонний збір. При встановленні цих опадомірів та їх захисту від вітру слід дотримуватися правил:

- у районах, де спостерігаються рясні снігопади, контейнер слід поміщати на висоті, що перевищує очікувану максимальну висоту снігового покриву. Для цієї мети можна змонтувати весь опадомір цілком на високій опорі, або тільки контейнер встановити на опорній сталевій трубі діаметром 30 см і такої довжини, щоб контейнер піднімався над поверхнею снігового покриву при його максимальній висоті;

- контейнер може бути поміщений розчин антифризу для перетворення снігу, що потрапляє в опадомір, рідина. Суміш, що складається за вагою з 37,5% технічного хлористого кальцію (ступінь чистоти 78%) і 62,5% води, дозволяє отримати задовільний антифриз. Крім того, можна використовувати розчин злудій етиленгліколю. Хоча цей розчин більш дорогий, він є менш корозійним, ніж хлорид кальцію, і оберігає від замерзання при більшій мірі розведення, яке відбувається в результаті попадання опадів. Об'єм розчину, що спочатку поміщається в контейнер, не повинен перевищувати однієї третини загального обсягу опадоміра [44].

Для зменшення випаровування в контейнер слід налити невелику кількість олії. Товщина шару олії має бути близько 8 мм. Рекомендуються неочищені моторні масла низької в'язкості. Трансформаторні та силіконові масла визнані неприйнятними.

Сезонний збір опадів визначається шляхом зважування або вимірювання об'єму вмісту контейнера. При цьому та іншому способі необхідно враховувати кількість антифризу, поміщеного в контейнер на початку сезону.

Методи вимірювання. Для вимірювання кількості опадів, зібраних у звичайних опадомірах, як правило, використовуються два пристосування: градуйована мірна склянка і градуйована рейка [44].

Мірна склянка повинна виготовлятися з прозорого скла з низьким коефіцієнтом термічного розширення і мати чітку мітку, що вказує розмір або тип опадоміра, з яким він повинен використовуватися. Його діаметр повинен становити не більше однієї третини діаметра отвору приладу.

Розподіл слід наносити чітко. Рекомендується наносити поділки з інтервалом 0,2 мм і чітко відзначати лінії кожного міліметра. Крім цього, бажано, щоб була відзначена лінія, що відповідає 0,1 мм. Якщо немає необхідності вимірювати опади з такою точністю, то розподіли в 0,2 мм наносяться, принаймні, до розподілу 1,0 мм, а далі йдуть розподіли, що відповідають цілим міліметрам, причому кожен десяток міліметрів відзначається особливо чіткою лінією. Для досягнення необхідної точності максимальна похибка поділів не повинна перевищувати $\pm 0,05$ мм близько/або вище за відмітку 2 мм і $\pm 0,02$ мм нижче цієї позначки [44].

Для того щоб виміряти невелику кількість опадів з адекватною точністю, внутрішній діаметр мірної склянки повинен бути звужений біля основи. При всіх вимірах рівень води визначається по нижньому краю його меніска. При знятті показань мірну склянку слід тримати вертикально, щоб уникнути помилок паралаксу. Нанесення основних ліній поділу на зворотний бік склянки також допомагає зменшити кількість таких помилок.

Мірні рейки слід виготовляти з кедря або іншого відповідного матеріалу, який мало поглинає воду і має незначний ефект капілярності [44].

Дерев'яні мірні рейки непридатні в тому випадку, якщо до колектора для зменшення випаровування додано масло; у цьому випадку рекомендується використовувати рейки з металу або інших матеріалів, з яких легко видалається олія.

Щоб уникнути швидкого зносу, вони повинні мати латунну основу. Їх градування проводиться відповідно до відношення площ поперечного перерізу приймального отвору осадкомера і колектора з урахуванням поправки на витіснення води мірною рейкою. Розподіл повинні наноситися через кожні 10 мм. Максимальна помилка у градуванні мірної рейки не повинна перевищувати $\pm 0,5$ мм у будь-якій точці. Вимірювання, що проводяться за допомогою мірної рейки, рекомендується, де це можливо, перевіряти по мірній склянці.

Також можна вимірювати зібрану кількість опадів точним зважуванням. Цей метод має деякі переваги. Визначається загальна вага мірної судини та її вмісту, потім віднімається вага судини, яка відома заздалегідь. У цьому випадку немає небезпеки розлити воду, і будь-яка кількість рідини, що залишилася в мірній посудині, включається в цю вагу. Але зазвичай використовувані методи є, проте, більш простими і дешевими.

Якщо зчитування показань проводиться досить акуратно, то помилки при вимірюваннях опадів будуть невеликі в порівнянні з помилками, що виникають через невдалий вибір місця для опадомірного посту. Відліки за добовими осадкомери слід проводити з точністю до найближчих 0,2 мм або, що краще, до 0,1 мм. По тижневим чи місячним опадомірам відліки проводяться з точністю до найближчого цілого міліметра. Основними джерелами можливих помилок є використання неточно градуйованих вимірювальних склянок або мірних рейок, витікання деякої частини води при переливанні її з відра в склянку, а також неможливість перелити всю воду без залишку з відра в склянку [44].

До перерахованих помилок можна додати помилки, що виникають внаслідок випаровування рідини з контейнера. Ці втрати досягають значної величини тільки в країнах з сухим жарким кліматом і при рідкісних відвідуваннях опадомірних постів.

Втрати на випаровування можна знизити, якщо налити у відро деяку кількість масла або сконструювати опадомір таким чином, щоб поверхня випаровування води була невелика, вентиляція - незначною, а також було б запобігти надмірному підвищенню температури всередині приладу. Крім цього, приймальна поверхня опадоміра повинна бути гладенькою для того, щоб дощові краплі не чіплялися до неї. Її ніколи не слід фарбувати.

У тих районах, де часто після дощів відразу настає морозна погода, можна попередити пошкодження опадомірного відра і відповідно витік зібраної води шляхом додавання антифризу. Як уже говорилося, це відноситься, головним чином, до рідко відвідуваних опадомірів.

Само собою зрозуміло, що при вимірі уловлених опадів необхідно враховувати кількість доданого розчину. Усі опадоміри слід регулярно перевіряти на протікання [44].

Коригування систематичних помилок. Результат впливу вітру, втрат на змочування внутрішніх стінок колектора, випаровування рідини з контейнера, видування снігу і розбризкування дощових крапель - виміряна кількість опадів зазвичай нижче (на 3-30% і більше), ніж їх фактична кількість, що досягає поверхні землі. Ця систематична помилка повинна коригуватися, перш ніж дані будуть використані в гідрологічних розрахунках (ВМО, 1982 р.). До введення поправки, вихідні дані про опади слід надійно заархівувати, і при публікації всі дані повинні бути чітко позначені, залежно від їх призначення, як «виміряні» та «скориговані».

Коригування цих даних зазвичай заснована на зв'язку компонентів помилок з метеорологічними факторами. Наприклад, втрати опадів за рахунок зміни поля вітру над приймальним отвором опадоміра залежать від швидкості вітру та структури опадів [44].

Цей вид втрат може бути охарактеризований в залежності від використовуюваного періоду часу за допомогою співвідношення кількості опадів низької інтенсивності ($i_p \leq 0,03 \text{ мм} \cdot \text{мін}^{-1}$) та логарифму інтенсивності опадів, температури повітря та/або вологості, а також виду опадів. Втрати на змочування внутрішніх стін колектора залежать від кількості днів з опадами, а втрати на випаровування - від дефіциту насичення та швидкості вітру. Завищення кількості виміряних опадів внаслідок надування снігу безпосередньо пов'язане зі швидкістю вітру [44].

У тому випадку, якщо поправки необхідно вводити щодобово, дані про наведені вище метеоеlementи слід отримувати в результаті метеорологічних спостережень, що проводяться на метеомайданчику, де проводилося вимірювання опадів, або в безпосередній близькості від опадомірного посту. Там, де спостереження за цими метеоеlementами не ведуться, поправки необхідно проводити за більш тривалі періоди часу, наприклад, за місяць.

Величини місячних поправок змінюються від 10 до 40%, залежно від методики оцінки метеорологічних факторів, які впливають на цю поправку.

Експериментально розрахована для різних опадомірів поправка залежить від двох змінних: швидкості вітру під час випадання опадів на рівні отвору осадкоміра та швидкості випадання частинок опадів, яка, у свою чергу, залежить від структури опадів.

Абсолютне значення помилки через втрати на змочування залежить від геометричних характеристик і матеріалу приймального колектора і відра опадоміра [44].

Плювіографи. Застосовуються 5 типів плювіографів: ваговий, поплавковий, з судиною, що перекидається, дисдрометр і акустичний. З цих плювіографів для вимірювання всіх видів опадів підходять тільки ваговий плювіограф або плювіограф, заснований на інерційному/оптичному принципі виявлення. Інші в основному використовують для вимірювання рідких опадів [44].

Ваговий плювіограф. Прилади цього типу ведеться постійна запис ваги контейнера разом із зібраними в ньому опадами за допомогою пружинних або важільних ваг. Таким чином, записується вага всієї кількості опадів з початку їх випадання. Зазвичай цей тип приладу не має пристосування для видалення з нього зібраних опадів, але за допомогою системи важелів можна змусити перо перетинати стрічку будь-яку кількість разів. Такі прилади слід конструювати так, щоб запобігти надмірні втрати на випаровування, які згодом можуть бути додатково знижені шляхом додавання в контейнер достатньої кількості масла або іншого ретарданта для створення плівки на поверхні води. Коливання ваг під час сильних вітрів можна зменшити, використовуючи масляний демпфер. Прилади такого типу особливо корисні для запису опадів у вигляді снігу, граду та суміші снігу з дощем, оскільки для запису таких твердих опадів їх не потрібно розтоплювати [44].

Поплавковий плювіограф. У цьому приладі рідкі опади потрапляють у поплавцеву камеру, в якій знаходиться легкий поплавець. Коли рівень води в

камері підвищується, вертикальне переміщення поплавця перетворюється за допомогою спеціального механізму в рух пера по розграфленю паперовій стрічці. Необхідний масштаб запису можна встановити шляхом налаштування розмірів приймального отвору колектора, поплавця і камери поплавця [44].

Для того, щоб зробити запис за який-небудь обраний період часу (зазвичай не менше, ніж за 24 години), необхідно мати або дуже велику камеру поплавця (у цьому випадку отримують стислий масштаб запису на стрічці), або будь-який механізм для автоматичного швидкого зливу рідини з камери поплавця, як тільки вона наповниться, для того щоб перо повернулося до нижньої кромки стрічки. Для зливу опадів зазвичай використовується пристосування сифонного типу. Процес виливання води слід починати в точно встановлений момент так, щоб вода не переливалася через край ні на початку, ні наприкінці процесу, який не повинен займати більше 15 секунд. У деяких приладах камера поплавця встановлюється на важелі ваг за допомогою опорних призм для того, щоб наповнена камера переважувала. Підйом води полегшує процес зливу, і коли камера спорожняється, вона повертається в початкове положення. Деякі плевіографи мають механізм примусового зливу, який допомагає виробляти процес зливу менш ніж за п'ять секунд. Плевіограф з примусовим зливом має невелику камеру, відокремлену від основної, в якій збираються рідкі опади, що випадають в момент зливу. Вода з цієї камери надходить в основну камеру, коли припиняється злив, що гарантує правильність запису загальної кількості рідких опадів [44].

Щоб уникнути замерзання води в поплавковій камері зимовий період, в плевіографі повинен встановлюватися обігрівальний прилад. Це запобіжить пошкодження поплавця і камери поплавця і дасть можливість реєструвати кількість рідких осадів в зимовий період. Там, де є мережа електроживлення, досить невеликого нагрівального елемента або малопотужної електричної лампочки, інакше можна використовувати інші джерела живлення. З цією

метою зручно використовувати коротку спіраль, яка намотується на колектор і приєднується до батареї великої потужності. Кількість тепла, що подається, не повинна перевищувати мінімуму, необхідного для запобігання замерзанню, оскільки зайве тепло може знизити точність спостережень, створюючи вертикальне переміщення повітря над приладом спостережень і збільшуючи втрати за рахунок випаровування.

Плювіограф з посудиною, що перекидається. Принцип його дії дуже простий. Легкий металічний контейнер (човник), розділений на два відділення, знаходиться в нестійкій рівновазі відносно горизонтальної осі. У нормальному положенні він спирається на один з двох обмежувачів, що заважає йому остаточно перевернутися. Вода потрапляє з колектора в відділення, яке в даний момент знаходиться вище. Після того як певна кількість води опиниться в цьому відділенні, човник втрачає стійкість і нахиляється до іншого обмежувача [44].

Відділення контейнера (човна) мають таку форму, що вода випливає з того, що знаходиться в даний момент нижче. Тим часом опади збираються у тому відділенні, яке знаходиться вище. Рух людини в той момент, коли він нахиляється, можна використовувати для приведення в дію контактного реле, за допомогою якого отримують запис переривчастих ліній. Відстань між лініями відповідає часу, за який випадає певна невелика кількість опадів. Якщо необхідно отримати докладний запис, ця кількість опадів не повинна перевищувати 0,2 мм. Для низки гідрологічних цілей, особливо в районах зі зливами великої інтенсивності і при використанні даних у системах попередження паводків, достатньою є кількість опадів від 0,5 до 1,0 мм [44].

Основною перевагою приладу такого типу є те, що він дозволяє отримати на «виході» електронний імпульс і тому може бути використаний для отримання спостережень на відстані, а також для отримання одночасних спостережень за опадами і рівнем води, здійснюваних за допомогою відповідного самописця.

Дисдрометри. Дисдрометри вимірюють спектр частинок опадів або через імпульс, переданий перетворювачу, оскільки атмосферні опади ударяють по датчику, або через здатність опадів, що відображає, підсвічених світлом або мікрохвилями. Їх головна перевага полягає в тому, що вони дають вичерпні відомості про класифікацію опадів за розмірами. Ці пристрої доступні в промисловому масштабі, хоч і за високою, порівняно з осадкомерами з перекидається судиною, ціною [44].

Акустичний плювіограф. Вимірювання кількості опадів над озерами та морем особливо проблематично. Однак шум від крапель дождя, що потрапляють на водну поверхню, можна виявити за допомогою чутливих мікрофонів. Шумовий спектр показує розподіл розмірів дощових крапель і, отже, кількість опадів. Такі системи зараз доступні у промислових масштабах. Акустичні профілометри, створені для вимірювання профілів вітру над землею поверхнею, можуть вимірювати кількість опадів [44].

Сніг і град. Сніг, що накопичується у водозбірному басейні, є природним джерелом, яке формує значну частину запасів води в басейні.

Глибина шару снігу, що випав. Під шаром снігу мається на увазі кількість свіжого снігу, що осів на поверхню землі за певний період часу. Вимірювання проводяться як в одиницях висоти шару, так і в одиницях водного еквівалента. Прямі вимірювання висоти свіжого снігу на відкритій ділянці виконуються за допомогою градуйованої рейки або масштабної лінійки. Для цієї мети необхідно отримати середнє значення з декількох вертикальних вимірів, зроблених у місцях, де немає снігу, відкладеного хуртовиною. Для того щоб не робити виміри старого снігу, необхідні спеціальні запобіжні заходи. Можна розчистити відповідну невелику ділянку перед снігопадом або покрити поверхню старого снігу шматком якого-небудь матеріалу (наприклад, дерев'яною дощечкою з шорсткою поверхнею, забарвленою білою фарбою) і виміряти висоту снігу, що зібрався на ньому. Вимірювання на наклонній поверхні (чого, по можливості, слід уникати) рекомендується проводити, встановивши рейку вертикально. При наявному

шарі старого снігу було б неправильно обчислювати висоту свіжого снігу як різницю між двома послідовними вимірами загальної висоти снігу, тому що сніговий покрив постійно ущільнюється і зазнає абляції. Там, де спостерігаються сильні вітри, для отримання репрезентативної висоти снігового покриву потрібно зробити багато вимірювань [44].

Висоту снігу, що випав, можна також виміряти в нерухомому снігомірному контейнері з постійним поперечним перерізом після того, як сніг у ньому ліг рівним шаром без ущільнення. Контейнер повинен бути встановлений значно вище середньої висоти снігового покриву, наприклад, не менш ніж на 50 см вище максимальної спостереженої висоти снігового покриву.

У місці встановлення не повинно відбуватися вітрове перенесення снігу. Діаметр контейнера має становити не менше 20 см; для того щоб з контейнера не відбувалося видування уловленого снігу, він повинен бути або досить глибокий, або забезпечений сніговою хрестовиною (тобто двома вертикальними перегородками, розташованими під прямим кутом один до одного і розділяють контейнер на чотири відсіки) [44].

При сильних вітрах показання звичайних снігомірних контейнерів без захисних хрестовин стають ненадійними в результаті завихрень навколо їх прийомних отворів. Зазвичай такі контейнери вловлюють значно менше снігу, ніж контейнери з хрестовинами. З іншого боку, незважаючи на застосування хрестовин, можуть виникнути значні похибки в результаті попадання в контейнер снігу, що переноситься вітром в горизонтальному напрямку. Ці помилки можна зменшити шляхом встановлення контейнерів на висоті від трьох до шести метрів.

Водний еквівалент снігу. Водний еквівалент свіжого снігу - це еквівалентна кількість рідини, що міститься в даній кількості свіжого снігу. Його визначають одним із методів, описаних нижче, при цьому важливо взяти кілька репрезентативних проб:

- зважування або розтоплення снігових проб: за допомогою снігоміра можна брати циліндричні проби свіжого снігу, а потім зважувати або розтоплювати їх (отриманий циліндр снігу називається сніговим стовпом);

- вимірювання кількості снігу за допомогою осадкомера: сніг, зібраний в неереєструючих осадкомерах, слід відразу ж після кожного спостереження розтопити і виміряти за допомогою градуйованої вимірювальної склянки.

Для визначення водного еквівалента снігу можна використовувати ваговий плевіограф. У періоди снігопадів з приладів слід знімати воронки, щоб опади потрапляли безпосередньо в контейнер. Снігові стовпи широко використовуються на заході Сполучених Штатів Америки, де функціонує мережа SNOw TELelemetry (SNOTEL), що містить більше 500 осадкомірів. Через високі швидкості вітру при проходженні теплих фронтів спостерігається висока швидкість танення.

Снігомірні маршрути. Снігомірний маршрут - це заздалегідь намічена промірна лінія в певному районі, де щороку проводяться снігомірні зйомки. Снігомірні маршрути повинні ретельно вибиратися для того, щоб вимірювання водного еквівалента з року в рік давало надійний показник утримання води в сніговому покриві по всьому басейну [44].

У гірських районах вибір придатних снігомірних маршрутів є нелегким завданням через неоднорідний характер місцевості та значний вплив вітру. Правильно вибрані маршрути снігомірної зйомки у гірських районах мають відповідати таким вимогам:

- при вимірюванні загальної висоти сезонного покриву снігомірні маршрути повинні розташовуватися на такій висоті над рівнем моря і бути таким чином зорієнтовані, щоб танення снігу на них було незначним або взагалі не було до утворення максимального снігового покриву; для того щоб снігомірні зйомки можна було б проводити безперервно, наглядові майданчики маршруту повинні розташовуватися в достатньо доступних місцях;

- при вимірюваннях в районах лісових масивів, де дерева перешкоджають попаданню снігу на землю, снігомірні маршрути повинні пролягати на відкритих, досить вільних майданчиках;

- з метою зниження до мінімуму ефектів вітрового переміщення снігового покриву ці маршрути повинні мати достатній захист від вітру.

Критерії вибору придатного снігомірного маршруту такі ж, як і критерії для вибору місця для осадомірного посту для проведення спостережень за снігом [44].

На рівній місцевості снігомірний маршрут повинен проходити так, щоб середній водний еквівалент на цьому маршруті максимально представляв фактичний середній еквівалент снігу, що випадає в даному районі. Таким чином, бажано мати снігомірні маршрути на різних ландшафтах, наприклад на відкритих просторах і в лісах з різними умовами акумуляції снігу.

Якщо сніговий покрив у даному районі однорідний і рівномірно розподілений, і якщо існує просторова кореляційна залежність товщини снігу або запасів води в снігу, то для обчислення середньої величини снігозапасів із заданою точністю необхідна інформація про довжину снігомірного маршруту та кількість точок вимірювань на ньому [44].

Точки вимірювання. Вимірювання висоти снігового покриву на снігомірному маршруті в гірській місцевості проводиться шляхом взяття проб у точках, віддалених один від одного від 20 до 40 м. На великих відкритих просторах, де сніг зноситься вітром, проб знадобиться більше. Зважаючи на те, що на початку проведення робіт відомостей тенденції вітрового переміщення снігу недостатньо, доцільно зробити велику снігомірну зйомку по довгих промірних лініях і з великою кількістю вимірювань. Кількість вимірювань можна скоротити після того, як буде встановлена довжина і орієнтація снігових наносів. На рівній місцевості, залежно від місцевих умов, відстань між промірними точками для визначення щільності снігу має становити 100-500 м. Висоту снігового покриву на снігомірному маршруті рекомендується також вимірювати між

точками взяття проб, приблизно в п'яти точках, розташованих на рівній відстані один від одного [44].

Кожна промірна точка визначається виміром відповідної відстані від контрольної точки, вказаної на карті снігомірного маршруту. Як позначки контрольних точок можуть встановлюватися рейки такої висоти, щоб вони були вище найглибшого снігу. Ці рейки зміщуються від сніжного маршруту настільки, щоб не порушити снігового покриву. Місця для взяття проб визначаються навпроти кожної з контрольних точок. Контрольних точок може бути стільки, скільки необхідно для того, щоб звести до мінімуму кількість можливих помилок при визначенні місця взяття проби. Поверхня ґрунту повинна бути очищена від каменів, інею і розчищена на два метри у всіх напрямках від кожної точки, де береться проба [44].

Рекомендується обходити водотоки і нерівні ділянки з відривом щонайменше 2 м. Якщо снігомірний маршрут проходить лісистою ділянкою, й у місць взяття проб використовуються невеликі прогалини, місце розташування кожної точки може визначатися двома чи трьома поміченими деревами.

Спорядження для відбору проб снігу. У комплект спорядження для відбору проб снігу зазвичай входять: металевий або пластмасовий циліндр (іноді розділений на секції для полегшення його транспортування), нижній кінець якого забезпечений різцем, а на зовнішній стороні по всій довжині циліндра нанесена шкала для вимірювання висоти снігу; пружинні або важелі для визначення ваги взятої проби снігу; дротяна підвіска для підвішування циліндра під час зважування; набір інструментів для збирання та розбирання снігоміра. Типовий набір обладнання для взяття проб при глибокому сніговому покриві можна описати так:

- різець: різець повинен бути сконструйований таким чином, щоб він міг проникати крізь сніг різних видів, крізь наст і крижані прошарки, а в деяких випадках і крізь шар льоду досить значної товщини, який може утворитися поблизу поверхні ґрунту. Різець не повинен ущільнювати сніг, щоб

усередину нього не потрапила зайва кількість снігу. При захопленні різцем основи проби, останнє має настільки щільно пристати до стінок різця, щоб проба не висипалася з циліндра при його витягу зі снігового покриву. Різці невеликого діаметра утримують пробу значно краще, ніж різці великого розміру, але більший обсяг проби підвищує точність зважування. Зуби різця повинні мати таку форму, щоб відводити назад крижані уламки. Різець повинен бути наскільки можливо більш тонким, але все ж таки дещо виступати за зовнішній край циліндра. При такій конструкції крижані уламки відводяться убік після виходу з-під різця. Горизонтальна поверхня різця повинна мати слабкий зворотний ухил для того, щоб крижані уламки не потрапляли всередину циліндра; необхідно стежити, щоб різець був завжди наточений і залишав невеликий зазор між пробою снігу і внутрішньою стінкою циліндра. Велика кількість зубів на різці створює плавний хід при вирізання проби снігу та сприяє очищенню різця від великих шматків льоду;

- циліндр снігоміра: в більшості випадків внутрішній діаметр циліндра буває більше внутрішнього діаметра різця. Проба снігу тому теоретично може підніматися вгору по циліндру з мінімальним тертям об його стінки. При нормальному стані снігу проба все ж таки стосується стінок циліндра і третється про них. Тому стінки циліндра повинні бути гладкими для того, щоб проба могла підніматися нагору без зайвого тертя. У більшості випадків циліндри виготовляються з алюмінієвого сплаву та анодуються. Хоча поверхня циліндра може здаватися гладкою, все ж таки немає гарантії, що не станеться прилипання снігу, особливо при взятті проб вологого весняного снігу з крупно-зернистою структурою. Натирання внутрішньої сторони циліндра воском може зменшити прилипання. Деякі циліндри забезпечені прорізами, через які можна встановити довжину снігової колонки проби. Взагалі внаслідок стиснення, особливо при взятті проби вологого снігу, довжина проби всередині циліндра може істотно відрізнятись від справжньої висоти снігового покриву, вимірної за шкалою, нанесеною на зовнішній стінці циліндра. Через прорізи можна вводити всередину циліндра інструмент для

його чищення. Наявність прорізів створює ту перевагу, що можна негайно виявити помилки внаслідок закупорки циліндра, і відкинути всі явно невдалі проби. У той же час через прорізи в циліндр може потрапити зайва кількість снігу і збільшити вимірний водний еквівалент снігу;

- ваги: стандартним способом вимірювання запасу води в пробі снігу є зважування проби, взятої циліндром снігоміра. Проба залишається в циліндрі та зважується разом з ним. Вага циліндра відома [44].

Зважування зазвичай проводиться за допомогою пружинних терезів або спеціального безміну. Пружинні ваги найбільш практичні, тому що ними легко користуватися навіть за сильного вітру. Однак точність зважування ними становить близько 10 г, тому при користуванні снігоміром з малим діаметром циліндра та при невеликій висоті снігу окремі помилки зважування можуть бути значними. Важельні ваги можуть відрізнитися великою точністю, але користуватися ними дуже важко, особливо при вітрі. Сумнівно, щоб можна було використати велику точність цього приладу, хіба що у безвітряну погоду.

Інший спосіб вимірювання запасу води в пробі снігу полягає в тому, що проби зсипаються в пластмасові контейнери або пакети і відсилаються на базову станцію, де їх можна або точно зважити, або розтопити сніг і виміряти мензуркою кількість води, що утворилася. Практично цей спосіб важкоздійснити, оскільки проби повинні бути зсипані без втрат, забезпечені докладною етикеткою і відправлені на базу. Перевага вимірювань у полі полягає в тому, що можна легко виявити грубі помилки, викликані закупоркою циліндра або висипанням із циліндра частини взятої проби, і негайно перевірити виміри [44].

Результати записуються в полі разом з іншими необхідними спостереженнями, і якщо використовується зручна записник, то малоімовірно, що буде допущена помилка у визначенні розташування точки вимірювань або умов взяття проби.

Пристаюючи до вимірювань цього виду необхідно пам'ятати про виключно важкі умови, в яких іноді доводиться проводити спостереження, при конструюванні снігомірів слід насамперед враховувати практичні міркування.

Процедура взяття проб. Розташування точок взяття проб визначається на відстані від реперних точок, зазначених на карті снігомірного маршруту. Зміщення точки вимірювання більш ніж на кілька метрів може призвести до суттєвої помилки [44].

Для взяття проби снігу циліндр снігоміра вдавлюють вертикально в сніговий покрив, поки різець не торкнеться поверхні ґрунту. Якщо стан снігу дозволяє, то найкраще здійснювати рівномірний натиск, для того щоб забезпечувати безперервне надходження снігу в циліндр. Не перериваючи рівномірного вдавлювання, можна дещо повертати циліндр за годинниковою стрілкою; це введе в дію різець, що необхідно для швидкого проходження тонких прошарків льоду.

Коли різець циліндра, що знаходиться у вертикальному положенні, досягне поверхні ґрунту і злегка зануриться в неї, на шкалі відраховують ділення, що збігається з верхньою поверхнею снігового покриву.

Далі визначають, наскільки снігомір занурився нижче нижньої поверхні снігового покриву, отриману величину віднімають з першого відліку і різницю записують. Ця остаточна величина висоти снігу має значення, оскільки вона використовується для обчислення щільності снігу.

Для того щоб запобігти висипанню снігу, через різець під час вилучення снігоміра з снігового покриву, різцем захоплюють невелику кількість ґрунту, що служить пробкою. Кількість захопленого ґрунту визначається залежно від стану снігового покриву [44].

Для того щоб утримати в циліндрі сніг, що може розмокнути, може знадобитися 25-міліметровий шар щільного ґрунту. Сліди ґрунтового шару, що пристигли до нижнього кінця проби, показують, що висипання проби не було.

Довжина колонки захопленої проби снігу проглядається через прорізи в циліндрі і відраховується за шкалою на його зовнішній стороні. У відлік вводиться виправлення на шар ґрунту та сторонні предмети, захоплені різцем. Ця поправка є також доказом того, що взято повну пробу снігу.

Вимірювання у кожній точці закінчується ретельним зважуванням проби снігу в циліндрі снігоміра.

За шкалою ваги можна безпосередньо відрахувати вагу проби снігу, виражену в сантиметрах висоти еквівалентного шару води. Щільність снігу обчислюється шляхом поділу водного еквівалента снігу на висоту снігового покриву. Щільність снігу зазвичай залишається більш менш постійною протягом усього снігомірного маршруту. Різке відхилення від середньої щільності вказує, зазвичай, на помилку виміру у цій точці [44].

Точність вимірювань. Точність вимірювань товщини снігу чи вмісту води у снігу у конкретній точці снігомірного маршруту залежить від ціни розподілу шкали приладу і зажадав від інструментальних і суб'єктивних помилок.

Висота та площа снігового покриву.

Вимірювання снігового покриву великих просторах і встановлення місцевої взаємозв'язку з щільністю снігу дають можливість апроксимувати водний еквівалент снігового покриву.

Найбільш загальний метод визначення висоти снігового покриву, насамперед у регіонах з високим сніговим покривом, - це вимірювання за допомогою градуйованої рейки, встановленої в такому місці, яке є репрезентативним для даного району і яке може легко переглядатися на відстані. Ця процедура прийнятна в тих випадках, коли репрезентативність місця не викликає сумнівів, і все, що знаходиться безпосередньо на самій майданчику (приблизно в радіусі 10 м), захищається від небажаних вторгнень. Показання знімаються в умовах непорушеного снігового покриву.

Рейки слід фарбувати в білий колір, щоб звести до мінімуму танення снігу навколо них. Снігомірна рейка повинна мати метрові і сантиметрові поділу по всій довжині [44].

У важкодоступних місцях рейки забезпечуються поперечними поперечинами так, щоб можна було знімати показання на відстані за допомогою біно-клей, телескопів або використовуючи авіацію. У разі вимірювань висоти снігового покриву з літака, візуальне зняття показань може підкріплюватися великомасштабним фотографуванням снігомірних рейок, в результаті чого дані виходять менш суб'єктивними.

Вертикальна висота снігового покриву може також вимірюватися при безпосередньому спостереженні з допомогою градуйованого снігомірного циліндра, як правило, в ході отримання водного еквівалента снігового покриву [44].

Вимірювання снігового покриву за допомогою радіоактивних ізотопів. Джерела радіоактивних гамма-випромінювань використовуються в різних способах вимірювання водного еквівалента снігу. Ослаблення інтенсивності гамма-випромінювання може бути використане для розрахунку запасу води в сніговому покриві між джерелом випромінювання і детектором. При одному типі установки (вертикальному) вимірюється загальний водний еквівалент стрічок вище або нижче випромінювача. При іншому типі (горі-зонтальному) водний еквівалент вимірюється між двома вертикально встановленими трубками, які розташовані на певній відстані над поверхнею землі [44].

Для встановлення радіоізотопних пристроїв потрібне порівняно дороге та складне обладнання. Крім того, при будь-якому типі установки необхідно вживати відповідні запобіжні заходи, особливо там, де доводиться застосовувати досить сильний джерело випромінювання. У період розробки установки завжди необхідно проконсультуватися в установах, які здійснюють контроль та видачу дозволів, для того, щоб уникнути згодом різних ускладнень. Незважаючи на те, що це обмежує застосування

радіоізотопних снігомірних пристроїв, вони є цінним знаряддям вивчення снігового покриву і дають можливість вести безперервну запис спостережень, що особливо цінно в важкодоступних районах [44].

Вертикальні радіоізотопні снігоміри. Вимірювання щільності снігу за допомогою радіоактивних ізотопів засноване на ослабленні гамма-променів при їх проходженні через певне середовище. Таке ослаблення залежить від початкової енергії променів, щільності та товщини речовини, через яку проходять промені. Для цього методу необхідне джерело високої енергії гамма-випромінювання; часто використовується кобальт внаслідок його високої гамма-енергії і тривалого періоду напіврозпаду (5,25 років) [44].

Свинцевий захисний контейнер з джерелом випромінювання поміщається в ґрунт таким чином, щоб верхня поверхня контейнера знаходилася на одному рівні з поверхнею ґрунту, і пучок гамма-променів був направлений на детектор випромінювання, розташований над поверхнею снігового покриву. Детектором є лічильник Гейгера-Мюллера або сцинтиляційний лічильник. Імпульси від лічильника передаються на перерахунковий пристрій або, у разі необхідності отримання безперервного запису, на пристрої, що інтегрують і записують [44].

Джерело випромінювання може бути поміщений і на певній глибині (50-60 см) в ґрунті; при такій установці гамма-промені будуть проходити не тільки через сніжний покрив, а й через частину ґрунтового шару. Таким чином, у період сніготанення можна отримувати дані про кількість води, що просочилася в ґрунт, що пройшла з її поверхні. Є також третій спосіб встановлення апаратури в польових умовах. Детектор-лічильник випромінювання поміщається над поверхнею ґрунту, а джерело випромінювання із захисним пристроєм - над сніговим покривом, на висоті, що перевищує очікувану максимальну висоту снігу. При такому розташуванні апаратури зменшуються температурні коливання і створюється постійне тло для роботи лічильника [44].

Горизонтальні радіоізотопні снігоміри. У Франції і Сполучених Штатах Америки розроблені різні модифікації телеметричних радіоізотопних снігомірних пристроїв, що знімають профіль снігу по горизонталі і по вертикалі і передають результати вимірювань на основні станції по землі, по радіо або через супутники. У всіх снігомірних пристроїв вимірювальний елемент складається з двох вертикальних труб однакової довжини, укріплених на відстані 0,5-0,7 м один від одного. В одній трубі знаходиться джерело гамма-випромінювання (використовується цезій-137 з періодом напіврозпаду 30 років і активністю 10-30 мілікюрі), а в другій трубі - детектор (лічильник Гейгера-Мюллера або сцинтиляційний кристал з фотомножником). У процесі вимірювання профілю спеціальний движок, що працює синхронно з детектором, пересуває радіоактивне джерело вгору і вниз по трубі [44].

Реєструючи інтенсивність горизонтального потоку гамма-променів на різних рівнях шару снігу і обробляючи отримані дані відповідним чином на основній станції, можна визначити глибину снігового покриву, щільність снігу і запас води в ньому на даній глибині, а також середні значення цих параметрів. Крім того, за допомогою радіоізотопних пристроїв можна визначити висоту шару свіжого снігу, кількість рідких опадів і інтенсивність танення снігу.

Снігомірні подушки. Снігомірні подушки, які бувають різного діаметру та виготовляються з різного матеріалу, призначені для вимірювання ваги снігу. Подушки найбільш поширеного типу являють собою плоскі круглі контейнери діаметром 3,7 м, виготовлені з прогумованого матеріалу і наповнені незамерзаючою рідиною. Подушки укладаються на землю врівень з поверхнею ґрунту або покриваються тонким шаром ґрунту або піску. Для того щоб запобігти пошкодженню обладнання та зберегти сніг у його природних умовах, місце встановлення снігомірної подушки рекомендується огородити [44].

У нормальних умовах снігомірні подушки можуть використовуватись протягом 10 років і більше.

Гідростатичний тиск усередині подушки є мірою ваги снігу, що лежить на подушці. Вимірювання гідростатичного тиску здійснюється за допомогою поплавкового самописця рівня або датчика тиску. Вимірювання за допомогою снігомірної подушки відрізняються від вимірювань за допомогою стандартних снігомірів, особливо в період сніготанення. Вони особливо надійні, коли сніговий покрив не містить крижаних прошарків, які можуть створити перемичку над подушкою. Вимірювання водного еквівалента снігу за допомогою снігомірних подушок можуть відрізнятися від вимірювань стандартним зважуванням на 5–10 % [44].

Використання природного гамма-випромінювання. Метод гамма-зйомки снігового покриву заснований на ослабленні сніговим покривом гамма-випромінювання, що випускається природними радіоактивними елементами, що містяться у верхньому шарі ґрунту. Чим більше запас води в сніговому покриві, тим сильніше послаблює він це випромінювання. Вимірювання гамма-випромінювання можна проводити шляхом наземної, або шляхом літакової зйомки. Запас води в сніговому покриві можна розрахувати за співвідношенням інтенсивності гамма-випромінювання, вимірної над поверхнею снігового покриву, і інтенсивності, вимірної тому ж маршруті до випадання снігу [44].

Гамма зйомки снігового покриву з літака. Авіаційна зйомка дає інтегральну площу оцінку водного еквівалента снігового покриву, оскільки за курсами польоту виконуються серії точкових вимірів. Цей метод рекомендується для картографування запасів води в сніговому покриві в рівнинних районах, але він може застосовуватися і в горбистих районах з різницею висот до 400 м. У районах, де заболочені землі становлять більше 10%, вимірювання водного еквівалента снігу літакової гамма-зйомкою здійснюються тільки на незаболочених площах, отримані інтегральні

характеристики поширюють на всю площу водозбору. Звичайна висота польоту при гамма-зйомці складає 25-100 м-коду [44].

Вимірювання є сумарні відліки в діапазоні великих енергій і спектральні відліки за обраними енергетичними рівнями. Інформація по спектру використовується для коригування на помилкову радіацію, що наводиться космічними променями, та радіоактивність атмосфери. Точність авіаційна гамма-зйомки снігового покриву залежить головним чином від якості вимірювальної апаратури (наприклад, однаковості роботи вимірювальної апаратури), коливань інтенсивності космічної радіації і радіоактивності приземного шару повітря, коливань вологості верхнього 15-сантиметрового шару снігового покриву, відсутності тривалих відлиг (наприклад, від стабільності умов польоту та помилок у прокладанні маршрутів польотів). Передбачувані похибки складають $\pm 10\%$ з нижньою межею приблизно 10 мм водного еквівалента [44].

Детальні експерименти показали, що стандартне відхилення вимірювань водного еквівалента снігу, виконаних літаковою зйомкою на маршруті 10-20 км, становить близько 8 мм і має випадковий характер.

Велика перевага гамма-зйомки полягає в тому, що вона дозволяє отримати усереднені дані про снігозапаси для широкої смуги вздовж польоту. Ефективна ширина цієї смуги перевищує приблизно в 2-3 рази висоту польоту. Перевагою гамма-зйомки є також те, що інтенсивність ослаблення гамма-випромінювання в сніговому покриві залежить тільки від маси води і не залежить від її стану [44].

Наземна гамма-зйомка. Ручний детектор гамма-випромінювання забезпечує вимірювання середнього запасу води в сніговому покриві для смуги шириною близько 8 м на всьому протязі снігомірної маршруту. Наземна гамма-зйомка дозволяє вимірювати води у сніговому покриві в діапазоні від 10 до 300 мм. Точність вимірювань коливається від ± 2 до ± 6 мм залежить від коливань вологості ґрунту, розподілу снігу, а також від стабільності роботи вимірювальної системи [44].

Для вимірювання запасу води в снігу може застосовуватися стаціонарний наземний детектор (типу лічильника Гейгера-Мюллера або сцинтиляційного кристала з фотопомножувачем), який встановлюється на снігомірному маршруті. Однак випадання опадів призводить перенесення значної кількості радіоактивного матеріалу в сніговому покриві, тому вимірювання, що виконуються протягом і безпосередньо після випадання опадів схильні до впливу цієї додаткової радіації [44].

Розпад радіоактивних елементів дозволяє вимірювати запас води в снігу протягом чотирьох годин після припинення опадів. Порівняння відліків перед початком снігопаду та після нього дає інформацію про зміну водного еквівалента снігового покриву.

1.4. Коефіцієнти стоку міських територій

Розрахунок поверхневого (дощового і талого снігового) стоку з урбанізованої території ґрунтується на визначенні двох основних параметрів:

1. кількості атмосферних опадів (рідких і твердих), яка виражається через висоту шару води в мм, який утворюється на земній поверхні;
2. коефіцієнта стоку.

Кількість атмосферних опадів для поверхні урбанізованої території визначається за результатами спостережень на опадомірних пунктах, що знаходяться в її межах. Нерівномірність випадання опадів, зазвичай, не враховується, оскільки щільність опадомірної мережі на територіях міст є недостатньою. У більшості випадків кількість атмосферних опадів на території міста приймається рівною кількості, виміряної на найближчій до нього метеорологічній станції. Такий підхід є прийнятним для оцінки оюєнів середнього річного і дає помітну похибку при розрахунках об'ємів зливого стоку, особливо небезпечного для територій багатьох міст. При усіх недоліках такого підходу кількість атмосферних опадів може бути визначеною з достатньою для практичних розрахунків точністю.

Більш складним є визначення коефіцієнта стоку, який інтегрально характеризує властивості урбанізованої поверхні як стокоформуєчої. Фактично, коефіцієнт стоку C є відношенням середнього поверхневого водного стоку з поверхні певного водозбірного басейну, Y , до шару атмосферних опадів X , які на нього випадають:

$$C = \frac{Y}{X} \quad (1.7)$$

Не весь об'єм атмосферних опадів, що надходять на поверхню водозбірного басейну, перетворюються на поверхневий стік. Частина опадів інфільтрується в ґрунти, їх решта, що перевищує межу всмоктування затримується нерівностями поверхні, утворює поверхневу плівку, витрачаючись на так зване поверхнєве затримання. Об'єм перехопленої поверхнею води визначається багатьма чинниками:

- характером поверхні, у тому числі рослинного покриву;
- тривалістю і інтенсивністю зливи.

Об'єм поверхневого затримання опадів, в залежності від конкретних умов поверхні водозбірного басейну може становити 3-40 мм. Слід відмітити, що на втрати атмосферних опадів суттєво впливає рослинність. Її вплив починається ще до попадання опадів на поверхню басейну шляхом перехоплення води поверхнею рослинності. У добре розвинутих лісових масивах об'єм перехоплення може складати 20% річної суми опадів. Слабкі морозящі опади з шаром до 2 мм можуть повністю перехоплюватись рослинністю, при більших шарах опадів втрати на перехоплення становлять від 10 до 40%. Деревя з добре розвиненою кроною можуть затримувати до 2 мм шару опадів. В умовах достатнього зволоження помітна частка опадів витрачається на транспірацію. Загальна величина випаровування з поверхні водозбору визначається як метеорологічними умовами, так і запасом води у поверхневому шарі ґрунтів, досягаючи, в окремих випадках, значення випаровуваності.

Досить просто і точно середній річний коефіцієнт стоку визначається для окремого річкового басейну, особливо, якщо в його межах є достатня кількість рівномірно розподілених по площі опадомірних пунктів. Кількість атмосферних опадів і стік у замикаючому створі річкового басейну визначається з достатньою точністю. В залежності від особливості природних умов басейнів величини коефіцієнтів стоку річок України змінюється в межах 0,1-0,9, табл....

Таблиця 1.12

Коефіцієнти поверхневого стоку деяких річкових басейнів України [12, 31, 35]

Річка	Пункт	α
Дністер	Заліщики	0,34
Дністер	гирло	0,21
Прут	держкордон	0,82
Тиса	Вилок	0,70
Боржава	гирло	0,70
Сарата	гирло	0,03
Рибниця	гирло	0,08
Кагул	гирло	0,02
Ялпуг	гирло	0,02
Синюха	гирло	0,11
Інгул	гирло	0,07
Дніпро	Київ	0,19
Дніпро	Кременчук	0,17
Дніпро	гирло	0,16
Сож	гирло	0,23
Прип'ять	гирло	0,16
Стир	держкордон	0,13
Горинь	держкордон	0,15
Тетерів	гирло	0,13
Ірпінь	гирло	0,10
Рось	гирло	0,11
Інгулець	Іскрівка	0,07
Інгулець	Кривий Ріг	0,06
Інгулець	гирло	0,05
Десна	Чернігів	0,20
Десна	гирло	0,19

Для території м. Чернівці, особливо для його правобережної частини, що дронується басейнами річок Клокучка і Мольниця, референційними можуть вважатись величини середніх річних коефіцієнтів стоку, визначених для р. Дерелуй, створ с. Молодія, площа басейну 312 км², табл. 1.13.

Таблиця 1.13
Річні коефіцієнти стоку р. Дерелуй – с. Молодія, 1954–1974 рр. [12]

Рік	Річний шар, мм		Коефіцієнт стоку
	стоку	опадів	
1954	50	561	0,09
1955	221	944	0,23
1956	92	499	0,18
1957	55	529	0,10
1958	66	558	0,12
1959	46	495	0,09
1960	65	603	0,11
1961	58	493	0,12
1962	87	664	0,13
1963	86	501	0,17
1964	52	641	0,08
1965	259	726	0,36
1966	138	711	0,19
1967	96	623	0,15
1968	47	593	0,08
1969	325	823	0,39
1970	242	840	0,29
1971	174	793	0,22
1972	159	757	0,21
1973	194	527	0,37
1974	309	891	0,35

Більш складним завданням є визначення коефіцієнта стоку для території міста в цілому і окремих водозбірних басейнів в його межах. Складність полягає в тому, що такі поверхні є мозаїками, зібраними з елементів з дуже різноманітними фільтруючими властивостями. Кожен з елементів такої поверхні має своє значення коефіцієнта стоку, який значно відрізняється від референційного. Для кожного окремого виду поверхні величина коефіцієнту стоку може бути визначена експериментально, їх значення наводяться в багатьох літературних джерелах, зокрема [6, 20, 32, 39, 40], табл. 1.14.

Таблиця 1.14

Усереднені значення коефіцієнтів річного поверхневого стоку α для різних видів поверхонь [6, 20, 32, 39, 40]

№	Вид поверхні	α	Примітка
1	Покрівля	0,80-0,95	Для майже плоских покрівель приймається 0,80
2	Асфальтобетонні покриття	0,80-0,90	В залежності від стану покриття для старих, зруйнованих покриттів $\alpha = 0,80$
3	Акваторії водотоків (кювети, канали, канали та ін.)	0,60-0,70	Для зарослих русел водотоків $\alpha = 0,60$
4	Відкоси насипів, відвалів, дамб	0,50-0,65	В залежності від механічного складу матеріалу поверхні обирають для більш пористих матеріалів $\alpha = 0,50$
5	Бруківкові мостові та чорні щебневі покриття доріг	0,50-0,60	Для щебневих пористих покриттів $\alpha = 0,50$
6	Булижні мостові	0,45-0,50	Для слабоухильних мостових $\alpha = 0,45$
7	Щебневі покриття, необроблені в'язкими матеріалами	0,40-0,45	Для слабоухильних поверхонь $\alpha = 0,40$
8	Гравійні покриття	0,30-0,40	Для слабоухильних поверхонь $\alpha = 0,30$
9	Ґрунтові поверхні (сплановані)	0,20-0,30	Для слабоухильних поверхонь $\alpha = 0,20$
10	Незаплановані, неущільнені відвали	0,15-0,25	Для слабоухильних поверхонь $\alpha = 0,15$
11	Захарщені насипні поверхні, покриті трав'янистою рослинністю	0,10-0,15	Для слабоухильних поверхонь $\alpha = 0,10$
12	Газони	0,10-0,12	Для слабоухильних поверхонь $\alpha = 0,10$

Значно складнішим завданням є визначення коефіцієнта стоку для стокоформуючої поверхні, що складається з елементів з різними фільтруючими властивостями. найбільш точно коефіцієнт стоку може бути визначеним шляхом постановки натурального експерименту, фактично шляхом обладнання стокового майданчика, подібного до тих, які використовуються для вивчення стоку води і ерозії ґрунтів на воднобалансових станціях. Для такого майданчика, що обладнується на території міської забудови, повинен бути чітко обмеженим периметр, обладнані пункти опадомірних спостережень і замикаючий створ обліку водного стоку. Подібні дослідження були виконані в різних країнах світу, зокрема у США. Їх результатами є дані про коефіцієнти стоку як окремих урбанізованих покриттів, так і різних типів забудови в межах міст. В табл. 1.15 наводяться значення коефіцієнтів стоку для різних типів міських поверхонь, прийняті в США.

Таблиця 1.15

Типові значення коефіцієнтів стоку, які приймаються в США, при повторюваності дощу один раз на 2 – 10 років [39, 40]

Характер водозбору	Y
Центральні райони міста	0,7-0,9
Приміська зона	0,5-0,7
Житлові квартали	0,6-0,7
Дачні райони	0,3-0,5
Будинки з присадибними ділянками	0,4-0,6
Парки, кладовища	0,1-0,3
Ігрові майданчики	0,2-0,35
Залізничні станції	0,2-0,4
Вулиці:	
асфальтовані	0,7-0,95
бетонні	0,8-0,95
бруківка	0,7-0,85
Шосейні та пішохідні доріжки	0,75-0,85
Підприємства:	
легкої промисловості	0,5
важкої промисловості	0,6-0,9
Пустирі	0,1-0,4

Цілком зрозуміло, що натурні дослідження при усіх своїх перевагах має дуже важливий недолік – високу вартість, особливо при їх тривалому проведенні. Тому при виконанні робіт з оцінки об'ємів поверхневого стоку в містах, які виконуються при проектуванні мереж зливової каналізації, використовуються розрахункові методи визначення коефіцієнта стоку. Найчастіше для водозбірних басейнів міста розраховуються середньозважені (за частками площ з певної поверхні) коефіцієнт середнього міського стоку або дощових опадів розраховується за виразом:

$$\alpha_{\text{ср}} = (\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \dots + \alpha_n f_n) \frac{1}{F} \quad (1.8)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коефіцієнти річного поверхневого стоку з різноманітних видів поверхонь території;

f_1, f_2, \dots, f_n – площі різноманітних видів поверхонь території що розглядається, км² (га), які визначаються за планом місцевості масштабом від 1:500 до 1:5000; – загальна площа виділеного внутрішнього водозбору, км².

При загальній нескладності і така методика розрахунку є досить трудомісткою. Певні складності виникають при визначенні по картах або планах площ поверхонь з певним типом покриття. Тому такі розрахунки виконуються найчастіше для територій окремих об'єктів (промислових підприємств, районів каналізування), а не всього міста. Зазвичай при виконанні оціночних визначень величин середніх річних об'ємів поверхневого стоку коефіцієнти стоку розраховуються по емпіричних залежностях. Такими залежностями коефіцієнти середнього річного стоку пов'язуються з часткою забудованої поверхні в межах населеного пункту або навіть з густиною населення [39, 40].

1.5. Методика розрахунку об'ємів середнього річного поверхневого стоку

Для оцінки об'ємів водного стоку з будь якого водозбірного басейну можуть бути використані дві групи методів:

- пряме вимірювання у створі, що замикає водозбірний басейн;

- розрахунок об'єму стоку за вимірними кількостями атмосферних опадів і відомими характеристиками підстильної поверхні.

Перший з цих методів є для таких оцінок гранично точним, оскільки у замикаючому створі має вимірюватись лише одна величина – витрата води. При належній організації процесу вимірювань величина сумарної похибки не буде перевищувати 2-3% вимірюваної витрати води. Недоліком цього методу є те, що організація вимірювання в умовах міської забудови є досить складною. Зазвичай території міст, навіть невеликих, відносяться до декількох водозбірних басейнів, що потребує проведення синхронних спостережень у кількох контрольних створах. Складним завданням в умовах міської забудови є визначення і обмеження техногенно зміненої лінії вододілу. При усій складності і високій вартості таких вимірювань, вони були виконані, зокрема для визначення параметрів розрахункових формул на територіях багатьох міст світу [12, 34, 39, 40].

При проведенні оцінок середніх річних об'ємів поверхневого стоку зазвичай використовуються методики розрахунків для водозбірних басейнів, у яких не проводяться систематичні гідрометричні спостереження. Розрахунок проводиться за формулою:

$$Q_{\text{сер,річн.}} = \frac{M \cdot F}{1000} \quad (1.9)$$

Основними параметрами розрахункового виразу 1.9 є модуль стоку M і площа водозбірного басейну F . Величина модуля стоку є зональною і інтегрально враховує усі географічні особливості його формування. Для територій міст зональні величини модулів стоку, які визначаються по картам, не можуть бути використані, оскільки умови його формування докорінно змінюються під впливом урбанізації. За таких умов розрахунок виконується за виразом:

$$W = h \cdot C \cdot F \quad (1.10)$$

У даному виразі W – об'єм поверхневого стоку, C – коефіцієнт стоку, F – площа водозбірного басейну, h – шар атмосферних опадів.

За таким виразом визначаються об'єми дощового стоку W_d і талого снігового стоку W_t . При проведенні розрахунків використовуються величини шарів рідких h_p , твердих атмосферних опадів h_t , в, відповідно, коефіцієнти дощового C_d і талого снігового стоку C_t для водозбірного басейну.

Розрахункові формули мають вигляд

$$W_d = h_p \cdot C_d \cdot F \quad (1.11)$$

$$W_t = h_t \cdot C_t \cdot F \quad (1.12)$$

Для територій міст, де виконується вологе прибирання вулиць, до розрахункової формули для загального об'єму поверхневого стоку вводиться об'єм так званого поливо-мийного стоку $W_{пм}$;

$$W_{заг.} = W_d + W_t + W_{пм} \quad (1.13).$$

Об'єми поливо-мийного стоку є, зазвичай, значно меншими за дощові та снігові, тому їх доцільно розраховувати лише для випадків, коли виконується інтенсивне миття вулиць.

2. Атмосферні опади в Чернівцях

2.1. Багаторічний режим опадів

Атмосферні опади є основним джерелом формування поверхневого водного стоку. У цілому кількість атмосферних опадів в кожній точці земної поверхні визначається її географічним положенням. Чернівці знаходяться у помірному кліматичному поясі з достатнім зволоженням. Систематичні метеорологічні спостереження в Чернівцях були розпочаті в 1877 році, проте інформація про режим атмосферних опадів збереглась з 1881 року. Протягом наявного періоду спостережень річні кількості атмосферних опадів у Чернівцях змінювались від 237 в аномально посушливому 1882 до 1000мм в багатоводному 2010 році. Середня багаторічна сума атмосферних опадів у Чернівцях становить 712 мм [3, 4, 37].

У випадінні атмосферних опадів у Чернівцях спостерігається чітко виражена річна нерівномірність: в теплий період року їх кількість складає 71, в холодний – 29% річної суми. Сезонна нерівномірність є наступною: протягом зимового періоду випадає 17, навесні – 25, влітку – 37 і восени 21% річної суми опадів. Дані про середні місячні кількості опадів у Чернівцях наводяться в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Середні місячні кількості атмосферних опадів у Чернівцях [4]

Місяць	Кількість опадів, мм	Частка від річної суми, %
1	39	5,5
2	42	5,9
3	46	6,5
4	60	8,4
5	75	10,5
6	91	12,8
7	95	13,4
8	75	10,5
9	59	8,3
10	50	7,0
11	42	5,9
12	38	5,3

Важливою особливістю режиму атмосферних опадів є неоднорідність протягом року їх агрегатного стану, табл. 2.2

Таблиця 2.2

Частка твердих, рідких і мішаних опадів у відсотках від загальної річної кількості опадів у м. Чернівці [3, 4]

Агрегатний стан опадів	Місяці												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
тверді	57	72	50	7	-	-	-	-	-	7	15	47	17
рідкі	12	13	22	73	97	100	100	100	100	79	61	16	73
мішані	31	15	28	20	3	-	-	-	-	14	24	37	10

Дані таблиці 2.2 свідчать про те, що переважаюча частина річного об'єму водного стоку, які формуються на території м. Чернівці, утворюються за рахунок рідких атмосферних опадів – їх частка з квітня по листопад значно перевищує частку твердих. З червня по вересень місяці випадають лише рідкі опади, в жовтні-листопаді їх частка перевищує 50%, і навіть у грудні лише 47% місячної суми опадів випадають у вигляді снігу. Тільки у січні, лютому і частково – березні основна кількість опадів випадає у твердому агрегатному стані.

На формування поверхневого стоку з антропогенно навантажених територій крім кількості і агрегатного стану сильно впливає характер випадання опадів. Генетично, тобто за умовами формування атмосферні опади поділяються на наступні види:

- облогові – ті що випадають з систем шарувато-дощових і висотно-шаруватих хмар. Такі опади характеризуються помірною, рівномірною, невеликою інтенсивністю, охоплюють значні площі і можуть тривати протягом кількох годин і навіть десятків годин. При випаданні облогових опадів на території міста формуються рівномірний поверхневий стік, об'єм якого, зазвичай, відповідає транспортуючій здатності мереж зливової каналізації;

- безпечними є і моросящі опади, що випадають з шарувато-купчастих хмар. За агрегатним станом це морось, дрібні сніжинки і сніжні зерна. Оскільки інтенсивність моросящих опадів є дуже малою, помітний поверхневий стік при їх випаданні не утворюється;
- найбільш небезпечними для території міста є зливові опади, що випадають з купчасто-дощових хмар. Зазвичай вони охоплюють порівняно невеликі площі зрошення, відрізняються раптовістю початку і закінчення і мають велику інтенсивність. При випаданні злив на водозбірних поверхнях міста формуються дощові паводки, що наносять помітної шкоди інфраструктурним об'єктам. В табл. 2.3. показана повторюваність різних видів опадів у Чернівцях.

Таблиця 2.3

Повторюваність (%) видів опадів у Чернівцях [3, 4]

Вид опадів	Кліматичний сезон			
	зима	весна	літо	осінь
облогові	76,0	59,0	45,4	54,2
зливові	12,6	35,0	53,7	27,3
моросящі	11,4	6,0	0,9	18,5
сума опадів за сезон, мм	119	181	261	151

У цілому протягом року в Чернівцях найчастіше випадають облогові опади – 60,2% випадків. Зливові опади відмічаються в 31,7% випадків, і лише 8,1% випадків фіксуються моросящі опади.

Повторюваність різних видів опадів протягом сезонів року є наступною:

- у зимовий сезон переважають облогові опади – 76% випадків. Зливові і моросящі опади спостерігаються з приблизно однаковою повторюваністю -12,6 і 11,4% випадків відповідно. Протягом зимового сезону поверхневий стік формується лише під час відлиг і є малоінтенсивним. При відлигах сніговий покрив може стати повністю, внаслідок чого значні запаси води у сніговому покриві не формуються;

- навесні зменшується повторюваність моросящих і облогових, проте до 35% випадків збільшується повторюваність зливових опадів. Помітно більшою є і частка весняних опадів у річній сумі – 25,4%. У весняний кліматичний сезон на території міста зазвичай не формуються значні об’єми поверхневого стоку, за виключенням випадків потужних адвекцій теплого повітря і випадання рідких зливових опадів на сніговий покрив.
- найнебезпечнішим з точки зору формування інтенсивного поверхневого стоку – зливових паводків на водозборах м. Чернівці є літній сезон. Протягом літнього кліматичного сезону в Чернівцях випадає 36,7% річної суми опадів. Більша частина опадів має зливовий характер, їх повторюваність становить 53,7%, облогові опади спостерігаються в 45,4% випадків, майже не спостерігаються моросящі опади – 0,9% випадків;
- восени повторюваність зливових опадів різко – до 27,3% випадків зменшується, основний об’єм води на водозбірній поверхні Чернівців приносять облогові і моросящі опади.

Критичними для мереж зливової каналізації є дощові паводки. Їх можлива потужність може бути оціненою із врахуванням середніх і максимальних добових шарів атмосферних опадів, їх величини для території м. Чернівці наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Середні і максимальні добові (мм) кількості атмосферних опадів у Чернівцях [3, 4]

Кількість опадів	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
середня добова	2,4	2,5	2,7	4,8	5,1	7,8	7,8	6,4	5,5	3,8	3,5	2,7
середня максимальна добова	8	10	10	16	20	26	27	23	18	15	14	9

З таблиці 2.4 видно, що найбільш небезпечні середні і максимальні добові кількості опадів у Чернівцях випадають у період з квітня по вересень.

Об'єми талого снігового стоку в Чернівцях є значно меншими, ніж дощового. Це пояснюється, по-перше, незначними запасами води у сніговому покриві, дані про які для території м. Чернівці наводяться в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Запаси води (мм) у сніговому покриві в Чернівцях на останній день декади [3, 4]

Місяць	I		II			III
Декада	2	3	1	2	3	1
Запас води у сніговому покриві, мм	16	21	24	26	25	15

Як видно з табл. 2.5 запас води у сніговому покриві на кінець 2 і 3 декад лютого становить близько 25 мм, що можна порівняти з максимальною добовою кількістю опадів в Чернівцях, табл. 2.4.

Останнє десятиріччя характеризується стійким підвищенням температури повітря, особливо у зимовий сезон. Тривалість залягання снігового покриву значно зменшилась, стійкий сніговий покрив перестав формуватись. Разом з тим не можна повністю виключати імовірності виникнення катастрофічних ситуацій, подібних до тієї, що спостерігалась у зимовий період 1995-1996 років. У цей зимовий сезон стійкий сніговий покрив, який, у середньому триває у Чернівцях 84 дні, зберігався протягом 151 дня. Запас води у сніговому покриві на кінець 3 декади березня становив аномальні 82 мм. Сніготанення було дуже інтенсивним і до 6 квітня сніговий покрив повністю розтанув. У зв'язку з цим 1-5 квітня 1996 року на території міста формувались значні об'єми талих снігових вод [3, 4].

2.2. Тенденції сучасних змін режиму опадів

Кількість атмосферних опадів є основним параметром, за величиною якого робиться оцінка об'єму поверхневого стоку з території міста. Кількості

атмосферних опадів мають складний характер просторового розподілу і часової динаміки [15, 16, 19, 26]. Характер просторового розподілу атмосферних опадів в межах населеного пункту може бути простеженим шляхом організації мережі опадомірних пунктів. Структура такої мережі повинна враховувати особливості ландшафтів і атмосферної циркуляції на території міста. У сучасних умовах проведення таких досліджень значно спростилося, оскільки доступними стали опадоміри, показники яких у цифровій формі можуть передаватись по мережі Internet.

Не менш важливим є і дослідження часової динаміки кількості опадів, яка може бути вивчена за результатами опадомірних спостережень на базових метеорологічних станціях. Такі дослідження не потребують проведення додаткових спостережень і виконуються на основі статистичного аналізу існуючих рядів сум атмосферних опадів. Цілком зрозуміло, що чим тривалішим є період спостережень за опадами, тим обґрунтованішими будуть висновки відносно часових трендів їх змін. Визначення чітких напрямків змін дає можливість прогнозування кількостей опадів і, відповідно, можливих об'ємів поверхневого стоку.

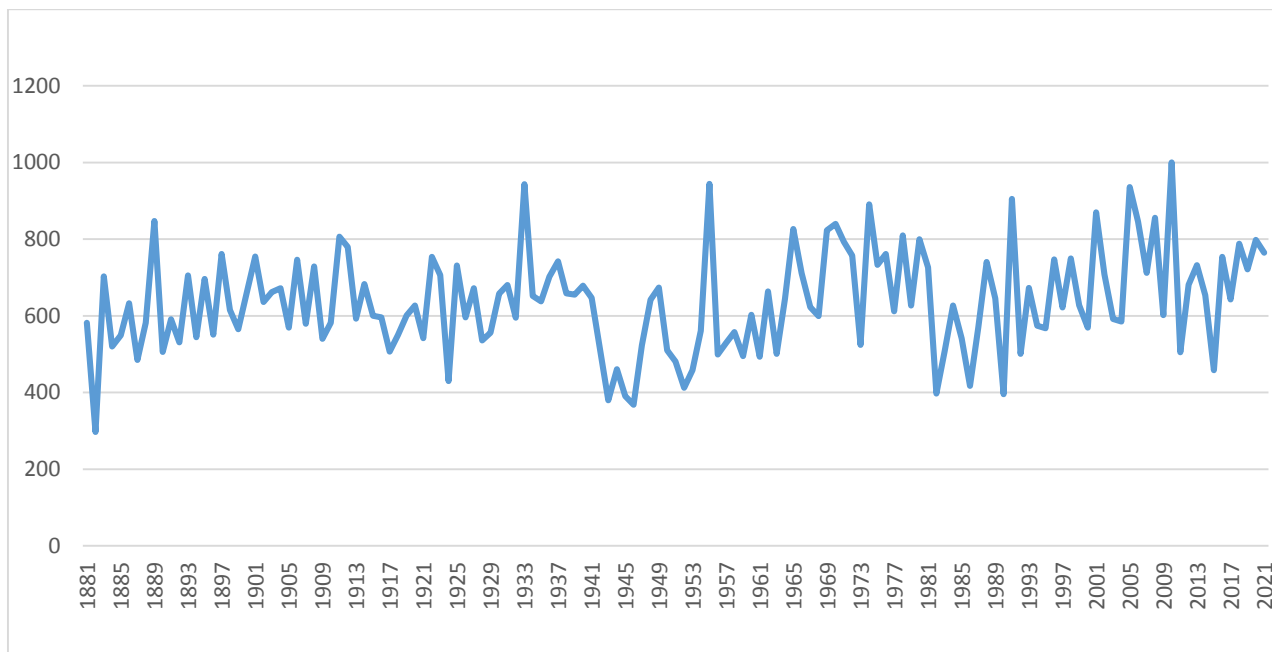


Рис. 2.1. Хід річних сум атмосферних опадів у Чернівцях (мм), 1881-2021рр.

Спостереження за атмосферними опадами в Чернівцях були розпочаті в 1881 році, відповідно, їх тривалість становить 141 рік. Загальне уявлення про часові зміни річних сум опадів може дати аналіз хронологічного графіку їх ходу, рис. 2.1.

З рис. 2.1 видно, що за досліджуваний період річні суми опадів у Чернівцях помітно змінювались, проте напрямки таких змін і границі періодів, в яких вони відбувались, краще простежуються по інтегральній кривій, Рис. 2.2.

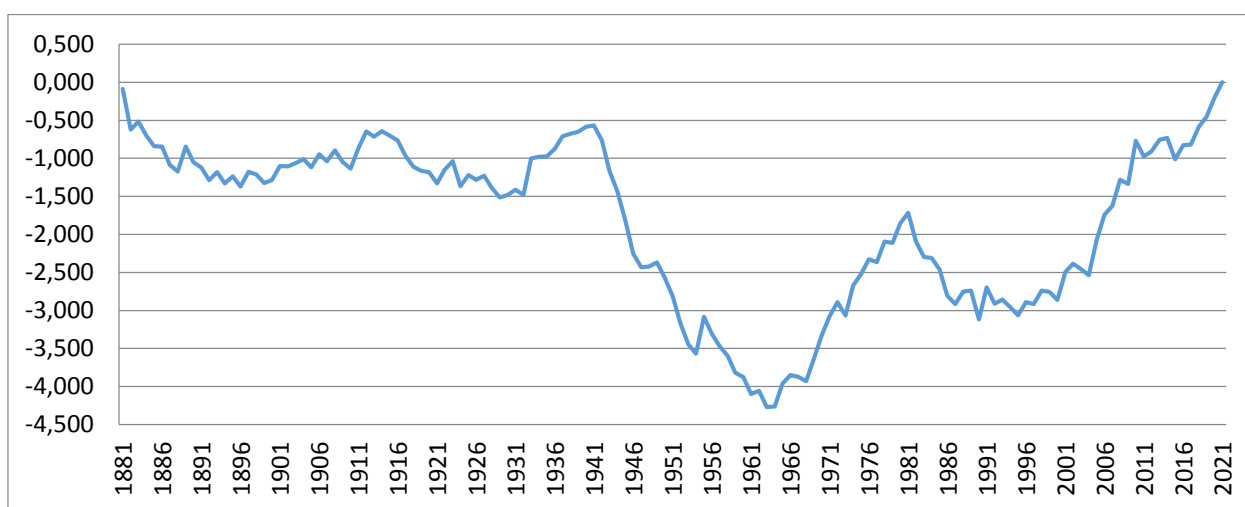


Рис. 2.2. Різницева інтегральна крива модульних коефіцієнтів річних сум атмосферних опадів у Чернівцях, 1881-2021 рр.

Таблиця 2.6

Повні цикли і характерні періоди змін річних кількостей атмосферних опадів у Чернівцях, 1881-2021 рр.

Характерні періоди				Повні цикли		
Початок та закінчення, роки	Тривалість, років	Зміни кількості опадів	Середня річна сума опадів, мм	Початок та закінчення, роки	Тривалість, роки	Середня річна сума опадів, мм
1881-1941	61	відносна стабільність	631	1942-2017	76	636
1942-1961	20	зменшення	525			
1962-2021	61	збільшення	679			
1963-1980	19	стрімке збільшення	713			
1981-1990	10	стрімке зменшення	557			

1991-2004	14	повільне збільшення	664			
2005-2021	17	стрімке збільшення	732			

Аналіз різницевої кривої, рис. 2.2, дає підстави виділення у понад віковому ході річних сум атмосферних опадів в Чернівцях одного повного циклу і декількох характерних періодів, табл. 2.6.

З точки зору оцінки об'єму формування поверхневого стоку аналіз різницевої інтегральної кривої дає можливість зробити кілька висновків, які можуть мати певне практичне значення:

- поточне десятиріччя відноситься до періоду збільшення річних кількостей атмосферних опадів у наступні роки, відповідно, об'єми поверхневого стоку з території м. Чернівці будуть збільшуватись;
- наразі не може бути встановленим рік (переломна точка ходу інтегральної кривої) початку наступного періоду зменшення кількості атмосферних опадів.

Деяких змін зазнали і процеси формування і залягання снігового покриву в Чернівцях, що впливає на формування талого снігового стоку. Внаслідок підвищення сезонних температур повітря, табл. 2.7, намітилась тенденція до скорочення тривалості періоду залягання снігового покриву в Чернівцях.

Таблиця 2.7

Зміни середніх сезонних температур повітря в Чернівцях

Період, роки	Середні сезонні температури повітря, °С			
	зима	весна	літо	осінь
1961-1990	-3,2	+8,2	+18,0	+8,6
1991-2022	-1,3	+10,2	+18,2	+9,7
Зміна температури, °С	+1,9	+2,0	+0,2	+1,0

З табл. 2.7 видно, що найбільших змін зазнали температури зимового і весняного кліматичних сезонів, вони стали теплішими на 2 °С. Внаслідок підвищення температур повітря сніговий покрив став формуватись пізніше,

сходити раніше. Залежність тривалості періоду зі сніговим покривом в Чернівцях від середньої температури зимового сезону показано на рис. 2.3.

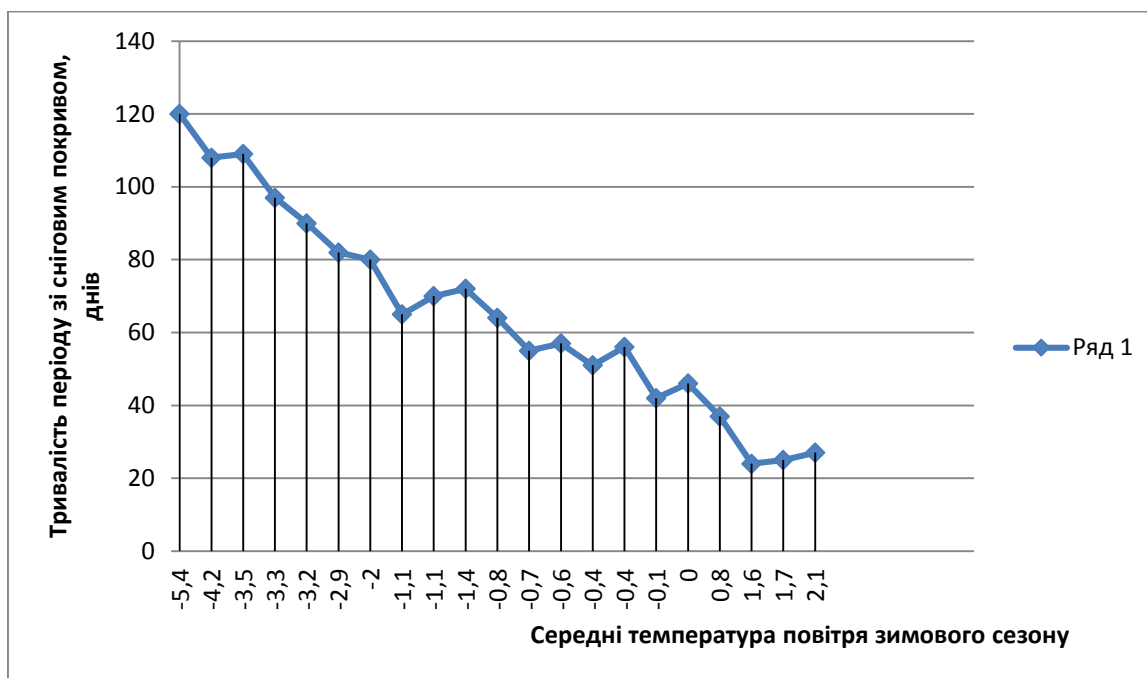


Рис. 2.3. Залежність тривалості періоду з сніговим покривом від середньої температури повітря в Чернівцях, 2000-2022 рр.

Важливим наслідком температурного режиму є і те, що стійкий сніговий покрив – тобто той, що формується на початку зимового сезону і розтає тільки навесні в Чернівцях протягом останнього п'ятирічного періоду не формувався. Сніг, який формував покрив товщиною 20-30 см, танув під час відлиг, не накопичуючись. Відповідно, не існувало умов для формування значних об'ємів талих снігових вод.

3. Оцінка середніх річних об'ємів поверхневого водного стоку з території м. Чернівці

3.1. Водозбірні басейни міста

Будь-яка частина земної поверхні може розглядатись як набір водозбірних басейнів різних порядків. Таким же чином можуть розглядатись і території міст, не дивлячись на те, що водозбірні поверхні урбанізованої території характеризуються найвищими рівнями техногенного навантаження. Інтенсивних змін на території міст зазнають усі компоненти довкілля – від клімату до геологічного середовища, незмінними або слабо зміненими залишаються лише загальні риси рельєфу на рівні його мезоформ, у тому числі лінії вододілів [7, 9, 12].

Територія Чернівців може бути поділена на 5 водозбірних басейнів, які є частинами річкового басейну Пруту. Практично вся лівобережна частина міста знаходиться в межах річкового басейну Шубранця. Більш складною є структура водозбору правобережної частини міста, яка представлена чотирма водозбірними басейнами. Такими є басейни правобережних допливів Пруту – річок Клокучка, Морльниця, малих річок (струмків) правого схилу долини головної річки та річки Дерелуй. На рис. 3.1 показані водозбірні басейни центральної частини м. Чернівці.

Таблиця 3.1

Водозбірні басейни території м. Чернівці [12, 25]

Номер	Назва басейну	Площа, км ²
I	р. Клокучка	18,4
II	р. Мольниця	11,7
III	р. Дерелуй (в межах міста)	8,79
IV	малих річок правого берега р. Прут	5,16
V	р. Шубранець (в межах міста)	21,3
	Частина території, обладнана загально-сплавною каналізаційною системою	3,87

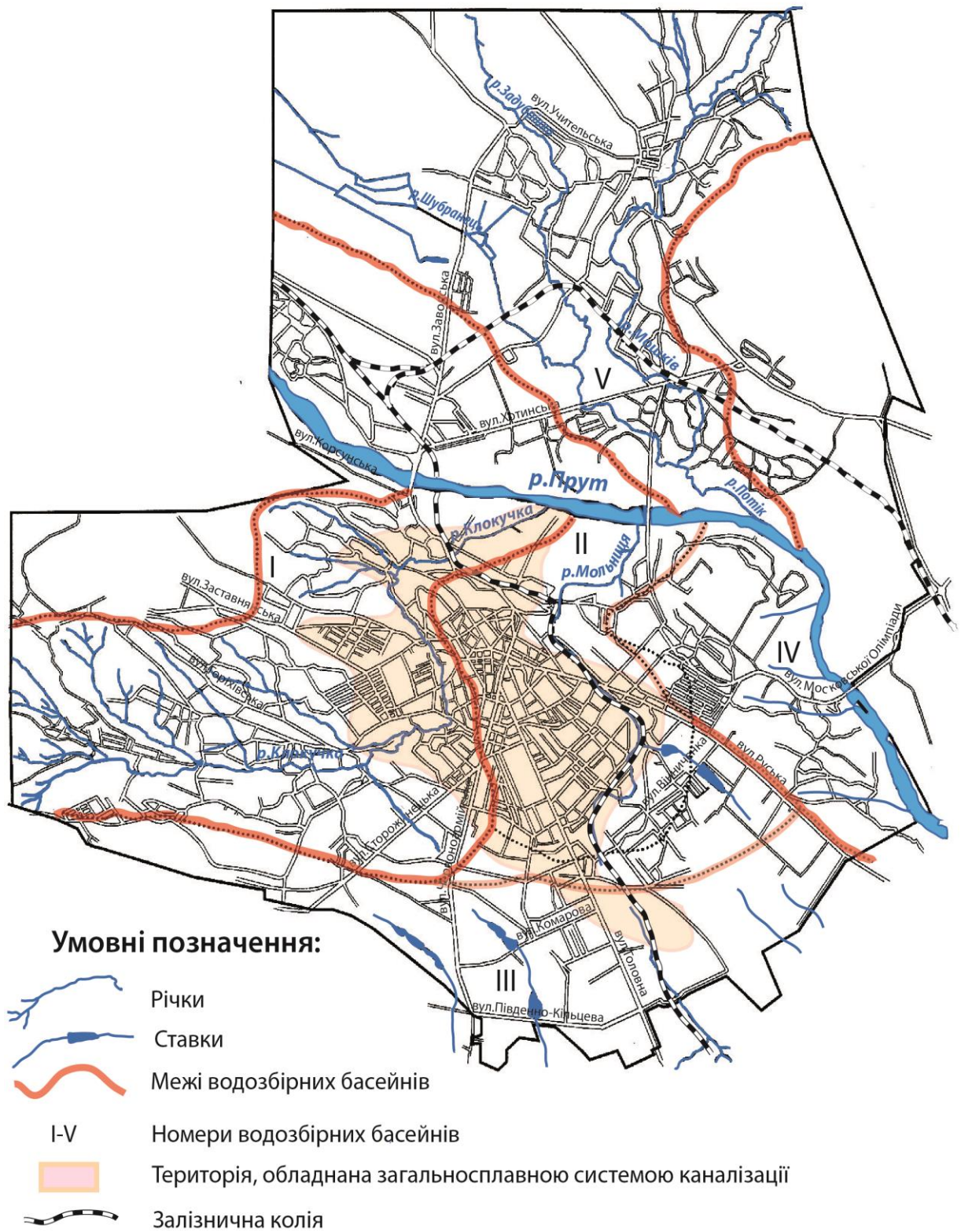


Рис. 3.1. Водозбірні басейни території м. Чернівці [12, 25]

Фактично, оцінка об'єму поверхневого стоку виконується за трьома параметрами: площею водозбірною басейну, властивостями його поверхні, яка кількісно характеризується величиною коефіцієнта стоку і кількістю атмосферних опадів. Прощі водозбірних басейнів визначаються планіметруванням по картах міста. Для території Чернівців площі водозборів були визначені: його центральної частини – по карті масштабу 1:10000, усієї території карти масштабу 1:25000. Величини площ водозборів наведені в табл. 3.3. Як окремий, специфічний тільки для урбанізованої території, може розглядатись водозбірний басейн, до якого відноситься частина території міста, обладнана загально сплавною системою каналізації, табл. 3.1.

Більш складною була робота по розрахунку величин середніх річних коефіцієнтів дощового стоку. Для території Чернівців такі розрахунки були виконані у два способи:

- по формулі середньозваженої величини (1.8);
- по залежності коефіцієнта стоку від загального рівня урбанізованості території.

При розрахунках за першою методикою, які були виконані для водозборів центральної частини міста, виконувалось планіметрування площ з певним типом господарського використання. Коефіцієнти стоку для певних поверхонь запозичені з відповідних літературних джерел. Площі визначені по карті масштабу 1:1000. Величини коефіцієнтів стоку наведені в табл. 3.3. Менш точним, але й набагато менш трудомістким було визначення коефіцієнтів стоку за другою методикою. Порівняння одержаних результатів показало, що різниця між значеннями коефіцієнтів стоку знаходиться в межах 0,2.

Менш трудомістким було визначення величин коефіцієнтів талого снігового стоку. Згідно існуючих рекомендацій, в залежності від глибини промерзання різних типів ґрунтів, їх величини знаходяться в межах 0,50-0,75 [12, 27]. Враховуючи те, що середньорічні температури повітря в Чернівцях підвищились на 2 °С, тривалість зимового кліматичного сезону скоротилась

на 10-14 днів, зменшилась глибина промерзання ґрунту, величина коефіцієнта талого снігового стоку для усіх водозборів міста була прийнятою рівною 0,50. Для мало урбанізованих частин басейнів річок Дерелуй і Шубранець були прийняті рівними його значенням, визначеним в результаті гідрологічних спостережень на р. Дерелуй – с. Молодія.

Принципове значення при оцінках об'єму поверхневого стоку має коректний вибір величини шару атмосферних опадів. Обов'язковою умовою має бути врахування його часових змін. Для Чернівців аналіз таких змін нами описаний в розділі 2.2. Літературні джерела містять неоднозначні дані по середніх річних сумах атмосферних опадів для різних періодів осереднення, табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Річні суми атмосферних опадів у Чернівцях, мм

Літературне джерело	Період осереднення, роки	Середня сума атмосферних опадів		
		річна	дощових	снігових
[37]	1877-1915	649	461	188
[3]	1891-1964	712	506	206
[4]	1961-1990	660	487	173

З нашої точки зору, жодне з цих значень, одержаних для періодів, які не враховують сучасні кліматичні зміни, не може бути використаним для оцінок об'ємів поверхневого стоку. Більш коректним може бути використання середньої річної суми опадів, розрахованої за останній десятирічний період, який характеризується чіткою односпрямованою тенденцією до її збільшення. Згідно результатів спостережень на метеостанції Чернівці-Університет середня річна сума атмосферних опадів за 2011-2022 роки в Чернівцях становила 682 мм (488 мм дощових і 198 мм снігових).

3.2. Об'єм дощового і талого снігового стоку

Результати розрахунків об'ємів поверхневого (дощового і талого снігового) стоку з території м. Чернівці наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Середні річні об'єми поверхневого стоку з водозбірних басейнів м. Чернівці

Водозбірний басейн	площа водозбору, км ²	Коефіцієнт стоку		Об'єм поверхневого стоку, млн.м ³		
		дощового	талого снігового	дощового	талого снігового	загальний
р. Клокучка	18,4	0,59	0,50	5,21	1,83	7,04
р. Мольниця	11,7	0,61	0,50	3,43	1,16	7,59
р. Дерелуй:	60,1					
- урбанізована частина басейну	8,79	0,59	0,50	2,49	0,87	3,36
-малоурбанізована частина басейну	51,3	0,11	0,50	2,71	5,08	7,79
малих річок правого берега долини р. Прут	5,16	0,52	0,50	1,29	0,51	1,80
Р. Шубранець:	57,6					
- урбанізована частина басейну	21,3	0,55	0,50	5,63	2,11	7,74
-малоурбанізована частина басейну	36,3	0,11	0,50	1,92	3,60	5,52
частина території міста з системою каналізації загально сплавного типу	3,82	0,68	0,50	1,25	0,38	1,63

Згідно одержаних даних середній річний об'єм дощового стоку з території м. Чернівці становить 22,7 млн.м³, снігового – 15,2 млн.м³, загального - 37,8 млн.м³. Більша частина цього об'єму – 32,3 млн.м³ формується в межах високо урбанізованих частин басейнів річок Клокучка, Мольниця, Шубранець і Дерелуй з коефіцієнтами стоку в межах 0,55-0,61. З частини міста, обладнаної каналізаційною системою загально сплавного типу на міські очисні споруди у складі потоку стічних вод надходить близько 1,6 млн.м³ вод поверхневого стоку.

Очевидно, що порядок одержаних величин потребує критичної оцінки. В якості критеріїв порівняння були прийняті 2 величини, точність визначення яких може вважатись достатньою. Першою з них є річний об'єм скидання зворотних вод м. Чернівці. Ця величина протягом 1980-2021 років має значну часову нерівномірність, основним чинником якої є рівень економічного розвитку. Так, протягом 1980-1990 років житловим сектором і промисловими підприємствами міста у водоприймач р. Прут щодоби скидалось близько 74 тис.м³ зворотних вод, табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Об'єми водовідведення в м. Чернівці, 1980-1990 рр. [13, 29, 30]

Об'єкти водовідведення	Середньодобовий об'єм водовідведення, тис. м ³
Житловий сектор:	
- правобережна частина	58,0
- лівобережна частина	12,8
Промислові підприємства:	
- правобережна частина	1,6
- лівобережна частина	2,0
Всього	74,4

Річний об'єм водовідведення, таким чином, становив близько 27,2 млн.м³. У наступні роки відбулось значне зменшення об'ємів загального водовідведення, що відповідало загальному для України тренду (Дністр, осадчий). В останній п'ятирічний період спостерігається поступове збільшення водовідведення, перспективні об'єми якого характеризуються величинами, наведеними в табл. 3.5.

Згідно даних табл. 3.5 сучасний середній добовий об'єм водовідведення по м. Чернівці оцінюється в межах 50 тис.м³, що відповідає річному об'єму скидання у 18,2 млн.м³.

У 2025 році об'єм водовідведення по місту може збільшитись до 74,5 тис.м³/добу, що відповідатиме 27,2 млн.м³/рік.

Таблиця 3.5

Сучасні і перспективні об'єми водовідведення в м. Чернівці [30]

№ з/п	Назва	Сучасний стан	Перспектива 2025 рік
		Середньодобова витрата м ³ /добу	
	2	3	4
1	Населення в т. ч.	27800	44000
	а) правобережна	20000	28000
	б) лівобережна	7800	16000
2	Промисловість в т. ч.	20000	26000
	а) правобережна	11000	11000
	б) лівобережна	9000	15000
3	смт. Лужани з промзоною (лівобережжя)	700	2500
4	Дослідна станція (Рогізна)	1500	2000
	Всього	50000	74500

Порівняння одержаних величин об'ємів поверхневого стоку з об'ємами водовідведення показує, що воно є значно більшим. Це свідчить про певну коректність одержаних даних.

Другим з критеріїв порівняння є величина річкового стоку, одержаному за зональним модулем стоку. За цією величиною, визначеною по карті стоку (нац.атлас України), одержаний об'єм річкового стоку з території міста, який становить близько 36 млн.м³/рік, що є меншим за одержаний об'єм поверхневого стоку. Аналіз розбіжності цих величин показує, що її основною причиною є завищення значення коефіцієнта зимового стоку. Така розбіжність також могла виникнути за рахунок неспівпадіння періодів осереднення модулів стоку і річних сум атмосферних опадів, для яких при проведенні наших розрахунків був прийнятий останній десятирічний багатоводний період. Таким чином, при подальших дослідженнях порядок розрахунку і сама величина об'єму дощового стоку можуть вважатися коректними, величини коефіцієнтів талого снігового стоку повинні бути відкорегованими.

3.3. Об'єми зливогого стоку

Місто Чернівці знаходиться в зоні активної діяльності злив, для якої характерне випадання значної (понад 100 мм) кількості рідких атмосферних опадів за короткі проміжки часу. Найчастіше зливи в Чернівцях випадають навесні і влітку, відповідно 33 і 32 %, восени і взимку вони спостерігаються рідко. Окремі зливи у вересні-жовтні місяцях можуть бути дуже інтенсивними. Катастрофічні зливи спостерігаються не кожен рік і бувають, переважно, у теплий період року.

В середньому за рік в Чернівцях за одну добу випадає 4,6 мм опадів, ця кількість помітно розрізняється по сезонах року: взимку це 2,5 мм, 4,2 мм навесні, влітку 7,3 мм і 4,4 мм восени. Значно більшими є добові максимуми зливових опадів, їх значення різної забезпеченості наводяться в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Добові максимуми опадів (мм) різної забезпеченості по місяцях в м.Чернівці [3, 4, 24].

Місяці	Середній максимум	Забезпеченість, %					
		63	20	10	5	2	1
I	8	6	12	15	18	22	26
II	10	7	13	18	24	36	54
III	10	7	15	21	27	37	45
IV	16	11	23	29	35	42	46
V	20	15	28	36	44	59	76
VI	26	19	36	45	53	62	68
VII	27	19	42	52	62	74	86
VIII	23	17	31	40	50	63	74
IX	18	12	28	36	43	51	59
X	15	8	22	32	41	57	71
XI	14	9	21	27	33	40	47
XII	9	6	15	19	24	30	36

При значних загальних об'ємах дощовий стік не створює катастрофічних ситуацій для мереж зливової каналізації і інфраструктури м. Чернівці. При випаданні злив на слабо фільтруючих поверхнях урбанізованої території швидко формуються значні об'єми дощових

паводків. Їх особливостями, у порівнянні з паводками, що формуються у природних умовах, є інтенсивний підйом і спад водності. Короткочасні зливові паводки на урбанізованих територіях є найбільш небезпечними, оскільки їх об'єми часто перевищують транспортуючу здатність мереж зливого водовідведення. У табл. 3.7. наведені розрахункові дані по об'ємах поверхневого стоку, які формуються в Чернівцях при зливах різної забезпеченості.

Таблиця 3.7

Добові об'єми поверхневого стоку з водозборів м. Чернівці, що формуються при зливах різної забезпеченості

№ п/п	Приймач поверхневого стоку	Місяці	Об'єм добового поверхневого стоку, тис м ³ при опадах різної забезпеченості, р %.					
			63	20	10	5	2	1
1.	р. Прут в межах міста	IV	356	685	913	1043	1250	1368
		V	476	834	1136	1539	1756	2263
		VI	566	1072	1389	1852	1846	2024
		VII	566	1250	1547	2199	2203	2559
		VIII	505	922	1191	1749	1875	2201
		IX	357	834	1072	1503	1582	1758
		X	238	655	952	1434	1510	2116
2.	очисні споруди каналізації	IV	28,6	59,8	754	91,0	109	120
		V	39,0	72,8	936	114	153	198
		VI	49,4	93,6	117	138	161	177
		VII	49,4	109	135	161	192	224
		VIII	44,2	80,6	104	130	164	192
		IX	31,2	72,8	936	112	133	151
		X	20,8	57,2	83,2	107	148	182

З табл. 3.7 видно, що вже при зливових паводках забезпеченістю 63 % (тобто таких, які можуть формуватись один раз на 1,5 роки) на очисні споруди каналізації м. Чернівці можуть надходити об'єми дощових вод, які дорівнюють середнім добовим об'ємам водовідведення (у 2018-2022 роках це 42,3-28,8 тис.м³/добу). При менших забезпеченостях – від 20 % і менше на очисні споруди каналізації можуть надходити об'єми поверхневого стоку, які значно перевищують об'єми водовідведення і потужність самих очисних споруд, оцінену у 75 тис.м³/добу.

Висновки

1. Формування водного стоку в містах визначається їх гідрологічними особливостями, що є відображенням специфіки водного балансу промислово-урбанізованих територій, у свою чергу обумовленої кліматичними факторами, своєрідністю умов формування та режиму поверхневого, ґрунтового та підземного стоку, а також масштабами водоспоживання відведення стічних вод.

2. Внаслідок порушення природного теплового режиму та через забруднення повітряного басейну у містах змінюється режим атмосферних опадів та випаровування. Як правило, річна сума опадів у містах з підвітряної сторони за їх межами більша (щодо зональних показників) на 5-30%, а повторюваність днів з опадами більше 5 мм збільшується з підвітряної сторони міських комплексів на 20-40%. Тепловий вплив, пов'язаний з техногенними факторами, призводить до випередження сходу снігу в містах і навколо них (в середньому на 6-48 днів у порівнянні з природними умовами). Площа, в межах якої місто впливає на властивості та динаміку снігового покриву, у 2-3 рази перевищує міську територію.

3. Міські території відрізняються специфічними умовами формування поверхневого, внутрішньогрунтового, ґрунтового та підземного стоку, що визначається своєрідністю підстилаючої поверхні, особливостями геологічного фундаменту, наявністю дренажно-каналізаційних систем. Особливо яскраво гідрологічна роль міст проявляється в тому, що територія, яку вони займають, відрізняється екстремальним станом проникності поверхні, яка набагато нижча, ніж у природних умовах. Вплив непроникних територій на водний баланс міст виявляється у збільшенні частки поверхневого стоку, уповільнення формування горизонту ґрунтових вод, у зниженні випаровуваності.

4. Загалом для промислово-урбанізованих районів характерна зміна природного режиму ґрунтових і підземних вод на невстановлений антропогенний режим міського типу. Найбільш масштабні зміни

гідрогеологічних умов властиві великим містам, а також поселенням, де підземні води активно використовуються для промислового та господарсько-побутового водопостачання.

5. Важливою особливістю міських ландшафтів є залучення у вологообіг на порівняно невеликих територіях значних обсягів води, що нерідко надходить через межу місцевого водосбору та з підземних горизонтів, що не дренуються місцевими водотоками, яка після її використання на господарські потреби міста набуває фізико-хімічних властивостей, містить величезні маси осадового матеріалу та скидається в гідрографічну мережу. Для транспортування води до місць споживання створюються складні мережі водопостачання, а для відведення використаних (стічних) вод та поверхневого стоку (дощового, талого, поливомийного) з міської території - каналізаційні та дренажні мережі, які визначають існування в містах двох основних груп техногенних джерел постачання поллютантів у річки.

6. Великі об'єми водоспоживання і, відповідно, водовідведення у містах призводять до того, що структура водного балансу міських територій зазнає суттєвих змін. Головними елементами водного балансу міст є водоподача, відведення стічних вод (каналізаційний стік) та поверхневий стік із міських територій. В даний час водний стік багатьох струмків і малих річок в межах міських ландшафтів практично повністю формується за рахунок промислових і побутових стічних вод, що надходять в них, або забрудненого поверхневого стоку. У малих та середніх річках частка стічних вод, залежно від сезону, може становити від 15-20 до 50-80% від їхнього загального стоку. Стік великих річок, що протікають по урбанізованих районах, в середньому на 10% складається з стічних вод.

7. Зменшення випаровування, збільшення поверхневого стоку з міських територій і великі обсяги стічних вод, що відводяться, незважаючи на певне зниження частки підземного стоку, як правило, сприяють зростанню водності річок на виході з міст. Причинами збільшення річного стоку є: а) збільшення атмосферних опадів над містом; б) збільшення коефіцієнта поверхневого

стоку; в) перекидання вод за межі басейну та (або) використання підземних вод, гідравлічно не пов'язаних із місцевими водотоками. Зазвичай річний стік з міської території більше, ніж стік у природних умовах даного басейну.

8. При експлуатації підземних вод, що обумовлює виникнення депресійних воронки, відбувається зменшення підземного стоку в річки та виникнення фільтрації поверхневих та річкових вод у водоносний горизонт, що нерідко призводить до зменшення (на 5-25% від річних величин) водного стоку малих і, меншою мірою, середніх річок. Модуль підземного живлення річок у таких районах знижується на 50% порівняно з басейнами з непорушеними умовами, а норма загального стоку зменшується на 20%. Оскільки живлення ґрунтових вод у місті за рахунок фільтрації дощових вод зазвичай менше, ніж у природних умовах, то це призводить до певного зменшення ґрунтової складової живлення річок.

9. Урбанізація території сприяє збільшенню повторюваності паводків та збільшенню їх висоти, причому на невеликих водозборах максимальні витрати можуть зростати в десятки разів. Об'єм і максимальні витрати весняної повені з територій великих міст не мають функціонального зв'язку зі снігозапасами і характером попередньої зими.

10. Територія м. Чернівці поділяється на п'ять водозбірних басейнів площами від 11 до 60 км² з різними рівнями урбанізованості. Найбільш урбанізованим є басейн річки Мольниця, найменш – південна частина басейну річки Шубранець і південно-західна частина басейну річки Дерелуй. Рівень урбанізованості водозбірного басейну визначає величину коефіцієнта поверхневого стоку, яка для території Чернівців, змінюючись в межах 0,11-0,61, становить у середньому, 0,44.

11. Основним джерелом формування поверхневого стоку є атмосферні опади. В Чернівцях спостерігається чітко виражена нерівномірність їх випадіння: в теплий період їх частка становить 71, в холодний – 29% річної суми. Найбільш інтенсивними є зливові опади, які спостерігаються у 32% випадків.

12. У понадвіковому (141 рік) ході річних сум атмосферних опадів в Чернівцях спостерігається досить складна часова динаміка. Чітко виділяються 3 основні періоди змін кількості опадів: відносно рівномірний хід у 1881-1941 роках, зменшення протягом 1942-1961 років і збільшення у 1962-2021 роках. Поточне десятиріччя відноситься до періоду збільшення річних сум опадів.

13. Згідно одержаних даних середній річний об'єм дощового стоку з території м. Чернівці становить 22,7 млн.м³, снігового – 15,2 млн.м³, загального - 37,8 млн.м³. Більша частина цього об'єму – 32,3 млн.м³ формується в межах високо урбанізованих частин басейнів річок Клокучка, Мольниця, Шубранець і Дерелуй з коефіцієнтами стоку в межах 0,55-0,61. З частини міста, обладнаної каналізаційною системою загальносплавного типу на міські очисні споруди у складі потоку стічних вод надходить близько 1,6 млн.м³ вод поверхневого стоку.

14. При значних загальних об'ємах дощовий стік не створює катастрофічних ситуацій для мереж зливової каналізації і інфраструктури м. Чернівці. При випаданні злив на слабофільтруючих поверхнях урбанізованої території швидко формуються значні об'єми дощових паводків. При зливових паводках забезпеченістю 63 % (тобто таких, які можуть формуватись один раз на 1,5 роки) на очисні споруди каналізації м. Чернівці можуть надходити об'єми дощових вод, які дорівнюють середнім добовим об'ємам водовідведення (у 2018-2022 роках це 42,3-28,8 тис.м³/добу). При менших забезпеченостях – від 20 % і менше на очисні споруди каналізації можуть надходити об'єми поверхневого стоку, які значно перевищують добові об'єми водовідведення і потужність самих очисних споруд, оцінену у 75 тис.м³/добу.

Література

1. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013 – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 172 с.
2. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013 – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 210 с.
3. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 344 с.
4. Кліматичний кадастр України (електронна версія) Державна гідрометеорологічна служба; УкрНДГМІ; Центральна геофізична обсерваторія. – К., 2006.
5. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
6. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація: Підручник .- “Кондор”, 2003-288 с.
7. Ландшафти міста Чернівці: Монографія / За редакцією В.М.Гуцуляка. – Чернівці: Рута, 2006. – 168с.
8. Методи розрахунку об'єму дощового стоку / В.В. Жук, І.І. Матлай // Вісник Нац. у-ту “Львівська політехніка”. “Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”. – Львів: НУ "Львівська політехніка". – № 677. – Львів. – 2010. – С. 32–38.
9. Молодий ландшафт річки Прут: минуле і сучасність (на теренах Чернівецької області): монографія/ Ющенко Ю.С., Пасічник М.Д., Білоконь М.В., Григорійчук В.В., Николаєв А.М. Сівак В.К., Шевчук Ю.Ф., за ред. Ю.С. Ющенка. – Чернівці: ФОП Садовський С.С., 2019. 115 с.
10. Мольчак Я.О. Гідроекологічні аспекти впливу скиду стічних вод з Луцьких каналізаційних очисних споруд на якість води р. Стир / Я.О.

Мольчак, В.О. Фесюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т.11. С. 352 -357.

11. Мольчак Я.О., Фесюк В.О. Еколого-економічні основи водокористування. Навчальний посібник- Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2007. 584с.

12. Николаєв А. М. Гідролого-геохімічна оцінка стану річок урбанізованої території (на прикладі м. Чернівці) / А. М. Николаєв. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. – 216 с.

13. Николаєв А.М. Винесення завислих речовин у складі зливового стоку з урбанізованої території / А.М. Николаєв, Ю.Ф. Шевчук // Наукові дослідження – теорія та експеримент 2014 : мат. 10-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 26–28 травня 2014 р.). – Полтава : «Інтер Графіка», 2014. – Т. 5 – С. 111–114.

14. Николаєв А.М. Екологічний стан малих річок м. Чернівці / А.М. Николаєв, В.М. Опеченик, Г.О. Тураш // Наук. вісник Чернівецького ун-ту : зб. наук. праць. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2012. – Вип. 633–634 : Географія. – С. 77–83.

15. Николаєв А.М. Зміни в значеннях деяких характеристик клімату в регіоні м. Чернівці під впливом глобального потепління / А.М. Николаєв, В.Г. Сінченко // V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology–2015), 23–26 вересня 2015 : збірник наукових праць. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. – С. 134.

16. Николаєв А.М. Зміни режиму температури повітря та атмосферних опадів в місті Чернівці під впливом глобального потепління / А.М. Николаєв // Наук. вісник Чернівецького ун-ту : зб. наук. праць. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2012. – Вип. 633–634 : Географія. – С.42–45.

17. Николаєв А.М. Природні і техногенні чинники формування хімічного складу води річок урбанізованої території / А.М. Николаєв // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія : мат. 5-ї Всеукр. наук. конф. (Чернівці, 22–24 вересня 2011 р.). – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2011. – С. 179–180.

18. Николаєв А.М. Антропогенні зміни гідрохімічного режиму малих річок міста Чернівці / А.М. Николаєв // Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання : тези доповідей / за ред. Масікевича Ю.Г. – Чернівці : Місто, 2015. – С. 116–117.

19. Николаєв А.М. Зміни елементів клімату Чернівців під впливом глобального потепління / А.М. Николаєв, Ю.Ф. Шевчук // Наук. вісник Чернівецького ун-ту : збірник наук. праць. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2014. – Вип. 724–725 : Географія. – С. 43–49.

20. Николаєв А.М. Оцінка рівня антропогенного навантаження на басейни малих річок міста Чернівці / А.М. Николаєв, Ю.М. Перепічка, С.Д. Товстюк // Розвиток наукових досліджень – 2014 : мат. 10-ї Міжнар. наук. конф. (Полтава, 24–26 листопада 2014 р.). – Полтава : «Інтер Графіка», 2014. – Т. 6. – С. 24–28.

21. Николаєв А.М. Поверхневий стік з території міста як джерело забруднення річкових вод / А.М. Николаєв // Науковий вісник Чернівецького університету : зб. наук. пр. – Чернівці : ЧНУ, 2010. – Вип. 527 : Географія. – С. 5–8.

22. Николаєв А.М. Зміни водності ділянки річки Прут у межах м. Чернівці під впливом господарської діяльності / А.М. Николаєв // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія : тези третьої всеукраїнської наукової конференції. (15–17 листопада 2006 р.) – Київ, 2006. – С. 51–52.

23. Николаєв А.М. Зміни хімічного складу річкових вод урбанізованої території під впливом техногенезу / А.М. Николаєв // Науковий вісник Чернівецького університету. – Чернівці : Рута, 2004. – Вип. 199 : Географія. – С. 48–55.

24. Николаєв А.М. Поверхневий стік з території міста як джерело забруднення річкових вод // Наук.вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць, Вип.527: Географія. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010. – С.5-8.

25. Ніколаєв А.М. Річкова мережа м. Чернівці / А.М. Ніколаєв, В.П. Зварич // Муніципальне управління: досвід, проблеми та перспективи : матеріали міжвуз. наук.-практ. конф. студ. та молодих науковців (Чернівці, 14–15 листоп. 2003 р.). – Чернівці, 2003. – С. 47–48.
26. Осадчий В.І. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень / В.І. Осадчий та ін.. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 308 с.
27. Правила користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України: наказ від 27.06.2008 № 190. / Міністерство з питань житлово-комунального господарства України. – Офіц. текст. – Київ. – 27 с.
28. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами: Постанова КМУ від 25 березня 1999 р. № 465.
29. Правила приймання стічних вод підприємств у систему комунальної каналізації в м. Чернівці. – Чернівці, 1996. 30с.
30. Програми каналізування міста Чернівців на 2013-2025 роки. – Чернівці, 2013. 27 с.
31. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств: ДСТУ 3013-95 – [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, 1995. – 19 с.
32. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко. – К.: Ніка-центр, 2001. 264 с.
33. Ф.Р. Кайндль. Історія міста Чернівців від найдавніших часів до сьогодення, присвячена 60-літньому ювілею правління Його Величності Цісаря Франца Йосипа I, в пам'ять про першу документальну згадку про місто Чернівці 500 років тому.- Чернівці.: Місто, 2003.- 278 с.

34. Фесюк В.О. Поверхневий стік з території міст як фактор забруднення водних об'єктів урбоєкосистем Північно-західної України (на прикладі м.Луцьк) // Гідрологія, гідрохія і гідроекологія. – 2006. – Т.11.- с.282-287.
35. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти.-К.: ВЦ Київський університет, 1999. 319с.
36. Явкин В.Г. Модель дощових паводків на малих водозборах Українських Карпат : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : 11.00.17 – гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія / В.Г. Явкин. – Одеса, 1994. – 24 с.
37. Buletinul Lunar al observatiunilor din Romanif. – Bucuresti: IMCR, L.N. Copuzeanu, 1927
38. Europes Environment. European Environment Agency. – Copenhagen, 1996. – 616 p.
39. Hall M.J. Urban Hidrologi. – London, New York: Elsevier Appl. Sci. Publ; 1984. – 299 p.
40. Hidrological effects of urbanization. – Paris: The UNESCO Press, 1994. – 280 p.
41. Lee D.O. Urban climates // Prog. Phys. Geogr., 1984, 8, №1, p.1-31.
42. Lowry W.R. The climate of cities // Sci. Amer., 1987, 21, №2, p. 15-23.
43. Oke T.R. Towards a more rational understanding of urban heat island // Climat. Bull., 1989, 41, №5, p. 1-20.
44. World Meteorological Organization, 1982: Methods of Correction for Systematic Error in Point Precipitation Measurement for Operational Use (B. Sevruk). Operational Hydrology Report No. 21, WMO-No. 589, Geneva.