

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

Антропогенні зміни водності річки Прут в районі міста Чернівці

Дипломна робота
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Виконав:
студент 6 курсу, групи 617
спеціальності 103 «Науки про Землю»
ОП «Гідрологія»
Герасимчук Юрій Юрійович
Керівник: к.геор.н., доц. Николаєв А.М.

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри № 20

від «11» грудня 2023 р.

зав. кафедри  проф. Костащук І.І.

Чернівці - 2023

АНОТАЦІЯ

Герасимчук Юрій Юрійович

*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*

АНТРОПОГЕННІ ЗМІНИ ВОДНОСТІ РІЧКИ ПРУТ В РАЙОНІ МІСТА ЧЕРНІВЦІ

Анотація. Об'єктом дослідження в даній роботі є р. Прут. Виконано кількісну оцінку змін у водності ділянки річки Прут в межах міста Чернівці під впливом господарських заходів та природних факторів. Отримані результати можуть бути використаними при розробці заходів з планування раціонального використання водних ресурсів басейну річки Прут.

Ключові слова: водні ресурси, річковий стік, антропогенний вплив, водогосподарський баланс, урбанізована територія.

ABSTRACT**Herasymchuk Yurii**

*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*

ANTHROPOGENIC CHANGES IN THE WATER LEVEL OF THE PRUT RIVER IN THE AREA OF THE CITY OF CHERNIVTSI

Abstract. The object of research in this work is the Prut River. Quantitative assessment of changes in the water content of the Prut River section within the city of Chernivtsi under the influence of economic activities and natural factors was performed. The obtained results can be used in the development of planning measures for the rational use of water resources of the Prut river basin

Keywords: water resources, river flow, anthropogenic influence, water management balance, urbanized area

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



(підпис)

Ю.Ю. Герасимчук

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ВПЛИВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ НА РІЧКОВИЙ СТІК.....	7
1.1. ФАКТОРИ АНТРОПОГЕННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ РІЧКОВОГО СТОКУ.....	7
1.1.1. Водоспоживання і водовідведення.....	8
1.1.2. Урбанізація річкових басейнів.....	9
1.1.3. Меліорація земель (зрошення, осушення боліт і заболочених територій).....	11
1.1.4. Спорудження гребель і створення водоймищ.....	12
1.1.5. Лісокористування та відновлення лісів.....	13
1.1.6. Агротехнічні заходи.....	14
1.1.7. Дорожнє будівництво.....	15
1.2. Зміни внесені урбанізацією в гідрологічний цикл та їх оцінка.....	16
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МІСТА НА РІЧКОВИЙ СТІК.....	22
2.1. Методи кількісної оцінки антропогенного впливу на водні ресурси.....	38
2.2. Воднобалансові методи.....	40
2.3. Методи натурного (фізичного) і математичного моделювання.....	44
2.4. Метод активного експерименту.....	45
2.5. Метод математичного моделювання.....	46
3. 3. ЗМІНИ ВОДНОСТІ РІЧКИ ПРУТ В МІСТІ ЧЕРНІВЦІ.....	47
3.1. Використання води в м. Чернівці.....	47
3.2. Балансова методика розрахунку змін водності.....	50
3.3. Оцінка об'єму стоку малих річок міста.....	52
3.4. Зміни водності річки Прут.....	55
ВИСНОВКИ.....	60
ЛІТЕРАТУРА.....	61

ВСТУП

Збільшення використання води при нерівномірному розподілі водних ресурсів в часі та просторі, а також зростаючий вплив антропогенних факторів на водний режим і якість вод, надихають до більш обережного ставлення до водних ресурсів, як до одного з найцінніших природних благ, обмежених у наявності. Великий тиск антропогенного впливу спостерігається в основному на урбанізованих територіях. Запаси як поверхневих, так і підземних вод у містах зменшуються як за обсягом, так і через забруднення стічними водами. Негативні зміни в якісних та кількісних показниках води також зафіксовані на території міста Чернівці. Запаси поверхневих вод у місті змінюються через відбір та стік після використання. Масштаби цих змін в значній мірі впливають на умови утворення якості поверхневих вод на досліджуваній території.

Об'єктом дослідження в даній роботі є р. Прут, **предметом** - зміни водності на ділянці річки в межах міста Чернівці.

Районом дослідження обрана територія м.Чернівці.

Метою роботи є оцінка змін водності ділянки р.Прут в межах м.Чернівці під впливом господарської діяльності.

Під час написання дипломної роботи були поставлені та вирішені наступні **завдання**:

- вивчення факторів, що впливають на гідрологічний режим річки Прут.
- ознайомлення з методами кількісної оцінки змін в рівні води в ріках під впливом антропогенного впливу.
- кількісна оцінка змін у водності ділянки річки Прут в межах міста Чернівці під впливом господарських заходів та природних факторів.

У цій роботі були використані наступні методи дослідження: літературний-описовий і воднобалансовий.

Інформаційною базою роботи є літературні джерела, фондові матеріали Гідрометслужбу, Басейнового управління водними ресурсами річок Дністра, Пруту і Сірету Держводгоспу України, Державного комунального підприємства "Чернівціводоканал".

Одержані результати можуть бути використаними при розробці заходів з планування раціонального використання водних ресурсів басейну річки Прут.

Ключові слова: водні ресурси, річковий стік, антропогенний вплив, водогосподарський баланс, урбанізована територія.

1. ВПЛИВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ НА РІЧКОВИЙ СТІК

1.1. ФАКТОРИ АНТРОПОГЕННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ РІЧКОВОГО СТОКУ

Внаслідок інтенсивного використання природних ресурсів спостерігається заміна природних ландшафтів антропогенними ландшафтами, які часто мають подібну структуру та склад. Ця зміна призводить до населених пунктів, промислових підприємств, гірничорудних видобутків, гідроелектростанцій, водойм, каналів та меліорованих земель, серед інших об'єктів господарської діяльності, які впливають на природний ландшафт через знищення його цілісності або зміну окремих компонентів.

Людина впливає на природний водний режим та водний баланс водних об'єктів через різноманітні господарські дії. Зараз практично немає річкових басейнів, в яких не спостерігалася б якась форма антропогенного впливу. Головні чинники, що впливають на водний режим та баланс річок, включають:

1. Використання поверхневих і підземних вод для задоволення потреб населення, промисловості та сільського господарства, а також процеси водоспоживання та водовідведення.
2. Урбанізація річкових басейнів, яка призводить до збільшення міських зон вздовж річок та інших населених пунктів.
3. Гірничорудні видобутки та видобуток підземних вод, які можуть впливати на гідрологічний режим річок.
4. Меліорація земель, яка включає в себе зрошення полів та осушення боліт.
5. Спорудження гребель та створення водосховищ.
6. Вирубка лісів та їхнє відновлення.

7. Агротехнічні заходи, які впливають на стік води.
8. Дорожнє будівництво, яке може змінювати шлях стіку води через системи дренажу.
9. Рекультивація та відновлення природних екосистем після господарської діяльності [11, 26].

Ці процеси мають значний вплив на природні водні ресурси та вимагають уважного дослідження та керування для забезпечення сталого розвитку та збереження природного середовища.

1.1.1. Водоспоживання та водовідведення

Збільшення використання води для водоспоживання та водовідведення відбувається на тлі швидкого зростання населення, розвитку промисловості та розширення зрошувального землеробства. Крім того, перекачка води між річковими басейнами також впливає на водний режим окремих річок.

Щодо водовідведення, вода, яка видобувається з рік та інших водойм, після використання повертається назад у водойму чи річку. Це може відбуватися близько до місця видобутку, наприклад, для забезпечення водопостачання населених пунктів, або на великій відстані від нього, як у випадку зрошення земель, скидання стоку на технічне та комунальне водопостачання, а також під час видобутку корисних копалин тощо. Загалом, загальний об'єм води, видобутий та повернутий, зазвичай зменшується через втрати води під час використання. Проте перекачка води між річковими басейнами та видобуток глибоких вод із водоносних шарів може призвести до ситуації, коли кількість води, яка відводиться після використання, становить близько до видобутої або навіть перевищує її кількість. Усе це ускладнює розрахунок впливу водоспоживання на режим стоку [11, 26].

Частка водних ресурсів, витрачених на виробництво промислових та сільськогосподарських продуктів, або втрачених під час транспортування води від джерела до місця використання, становить безповоротні втрати. Ці втрати можуть бути пов'язані з адміністративними територіями, річковими басейнами, містами та різними об'єктами водопостачання та суспільно-комунальними об'єктами. В суспільно-комунальному господарстві втрати води є значними через несуттєвості систем водопостачання та каналізації, втрати води під час транспортування, поливки вулиць тощо. За даними таблиці 2.2, ці втрати становлять від 15% до 20% і повинні зменшуватися. У промисловості безповоротні втрати води становлять від 12% до 16% на сучасному рівні розвитку і розглядаються на рівні 10%. Різниця в споживанні води на різних промислових підприємствах, які виробляють однакову продукцію, зумовлена несуттєвістю технологічних процесів і систем водопостачання та каналізації, а також місцем розташування виробництва. У сільському господарстві безповоротні втрати води включають втрати в системах зрошення через фільтрацію та випаровування з водосховищ і каналів, витрати води на зрошення сільськогосподарських культур, поїлок для тварин та водопостачання сільськогосподарських підприємств та населених пунктів. Основні втрати води пов'язані з фільтрацією та випаровуванням і становлять в середньому від 20% до 40% від загального обсягу водоспоживання.

1.1.2. Урбанізація річкових басейнів

Процес урбанізації, який полягає в зміні ландшафту побудовою великих житлових будівель, промислових споруд, доріг, каналізаційних мереж та інших інфраструктурних об'єктів, значно впливає на структуру водного балансу, водний режим територій та якість води. Ця перетворююча роль урбанізації проявляється як на урбанізованих територіях, зокрема в містах, так і за їх межами. Відсутність докладних досліджень водного балансу на

урбанізованих територіях та недоліки мережевих спостережень призводять до відсутності точних розрахункових моделей змін водних ресурсів, що відбуваються. Наявна інформація надає загальне уявлення про характер змін в водному балансі [11, 26].

Гідрологічні аспекти урбанізації включають зміни в стоку води з урбанізованих територій, які відрізняються якісно та кількісно від стоку з природних водозборів. Розходження стоку води можна виявити, порівнюючи річні обсяги стоку, а також періоди максимальних та мінімальних витрат води, а також співвідношення між поверхневою та підземною складовою загального річкового стоку. Окрім кліматичних факторів, зміни водного балансу на урбанізованих територіях можуть бути спричинені такими чинниками:

залученням води з інших територій для забезпечення водопостачання та виробництва;

наявністю великих площ водонепроникних та малопроникних покриттів, таких як будівлі, асфальтовані вулиці, промислові та господарські споруди, які обмежують інфільтрацію та призводять до високих коефіцієнтів стоку;

наявністю дренажних та каналізаційних мереж, які відводять воду до водоймищ та річок, які можуть бути як на місцевому водозборі, так і поза ним.

Річний стік з урбанізованих водозборів зазвичай значно вищий (до 10%) порівняно з неурбанізованими водозборами через більше кількості опадів в містах і менші безповоротні втрати, пов'язані з інфільтрацією. Максимальні витрати води особливо відчутні внаслідок урбанізації, особливо при невеликих і середніх розмірах міст, коли коефіцієнти стоку різко відрізняються. Урбанізація може призвести до збільшення середніх витрат дощових стоків вдвічі та більше. Межовий стік може зменшитися або збільшитися внаслідок урбанізації, особливо коли водопостачання здійснюється з місцевих джерел, що може призвести до зменшення інфільтрації дощової та талої води через вивезення снігу за межі міста.

1.1.3. Меліорація земель (зрошення та осушення боліт і заболочених територій)

Меліорація земель, у тому числі заходи щодо зрошення і осушення боліт і заболочених територій, впливає на природні умови навколишнього середовища. Ці впливи виявляються у змінах рельєфу, ґрунтового покриву, рослинного покриву, а також водних режимах, включаючи поверхневі та підземні води. В процесі меліорації земель відбуваються зміни в водному та сольовому балансі територій, які піддаються цим заходам.

Зрошення земель. Під час аналізу впливу зрошення на водні ресурси та водний баланс річкових басейнів основними аспектами є оцінка змін в річковому стоці та контроль над засоленням зрошуваних територій.

Зміни в річковому стоці під впливом зрошення перш за все обумовлені змінами загальних втрат води через випаровування з зрошувальних земель та інфільтрацію води з прилеглих територій. Це може призвести як до суттєвого зменшення річкового стоку, так і до певного його збільшення, в залежності від взаємодії цих факторів в річкових басейнах. Навіть при значному збільшенні площі зрошувальних земель, середні річні показники річкового стоку на замикаючих створах в окремих басейнах залишаються обмеженими, незважаючи на ці зміни. При цьому важливу роль відіграють природні чинники [11, 26].

Зайве збільшення стічних вод восени та взимку на зрошувальних землях сприяє вирівнюванню річкового стоку, особливо на річках з весняним та літнім повноводдям. Важливо відзначити, що на великих річках з весняним повноводдям внутрішньорічний розподіл стоку практично не змінюється. Однак урбанізація та інші антропогенні чинники можуть вплинути на річковий стік на значній відстані від зрошуваних земель.

Повернення води з зрошуваних земель до річок, особливо в регіонах із сухим кліматом, може спричинити засолення цих земель. Засолення зазвичай спостерігається в річкових басейнах або їхніх частинах, де відсутні природні

водні шляхи для дренажу. Мінералізація стічних вод з зрошуваних земель у цих регіонах зазвичай значно перевищує мінералізацію води, яка використовується для зрошення. Наукові дослідження свідчать про підвищення рівня ґрунтових вод через фільтрацію води з каналів та осушених зрошувальних полів [11, 26].

1.1.4. Спорудження гребель і створення водоймищ

Спорудження гребель і створення водоймищ є ключовою складовою комплексного використання водних ресурсів та регулювання річкового стоку. Ці заходи спрямовані на зменшення або повне уникнення затоплень, які завдають збитки національному господарству. Водночас створення великих водоймищ може викликати значні зміни природних умов, які можуть мати вплив як на місцевому, так і на регіональному рівнях, а також на великій відстані від них (регіональний і глобальний вплив).

Вплив штучних водоймищ на річковий стік. Створення значних водосховищ і водоймищ може призвести до зменшення загального річкового стоку через випаровування з їхньої поверхні та перерозподіл стоку внутрішньорічно. Наприклад, весною за рахунок зберігання талої води у штучно створених водоймищах на нижчезрештованих ділянках річок може спостерігатися помітне зменшення річкового стоку. Літом, восени та взимку, завдяки використанню нагромаджених запасів води, водність річок може збільшитися.

Особливо важливі зміни в природних умовах спостерігаються в нижній частині великих водоймищ, які спроможні регулювати річковий стік протягом тривалого, сезонного та добового циклів. Це породжує проблеми, які потребують узгодження інтересів різних водокористувачів та споживачів води для їх вирішення.

1.1.5. Лісокористування та Відновлення лісів

Господарська діяльність, пов'язана з лісокористуванням та процесами відновлення лісів, має вплив на водні ресурси. Цей вплив обумовлений різними чинниками, включаючи фізико-географічні особливості регіону, видовий склад лісових насаджень, їх біологічну продуктивність, методи вирубки та процеси відновлення лісу, а також розташування лісових масивів на вододільних територіях річок.

Після вирубки дерев і завдяки життєдіяльності організмів, що мешкають у лісі, структура та водопроникність лісових ґрунтів підвищуються. Це призводить до перерозподілу стоку в часі, зменшуючи максимальні втрати води під час танення снігу та під час дощових опадів, і збільшуючи водний стік до підземних джерел. Іншими словами, спостерігається перерозподіл водного стоку від збільшення об'ємів та максимальних витрат води під час весняних повеней та дощових періодів до підземного стоку.

Розмір лісових масивів впливає на внутрішньорічний розподіл річкового стоку, і цей вплив залежить від виду лісу, типу ґрунтів, ступеня залісненості та розташування лісових масивів на вододільних територіях. Найсильніший вплив лісів на внутрішньорічний стік спостерігається на вододільних територіях з глинистими та суглинковими ґрунтами, порівняно з регіонами, де переважають пісчані та супіщані ґрунти. Крім того, велике значення має наявність потужної та глибокопроникаючої кореневої системи лісів.

Питання про вплив лісу на загальний річний стік річок і досі залишається предметом обговорення [11, 26].

Вплив лісу на річний стік. Дослідження стоку на вододільних територіях із лісовим та безлісним покривом свідчать, що вплив лісу (незалежно від того, чи ліс був вирубаний або поновлений) на загальний річний стік може бути як позитивним, так і негативним. Іншими словами, цей вплив може

призвести як до збільшення, так і до зменшення річного стоку на вододільних територіях, частково або повністю покритих лісом [11, 26].

Підвищення річного стоку часто пов'язане зі збільшенням опадів, які впливають на лісові масиви. Наукові дослідження показують, що лісні зони впливають на атмосферні потоки опадів пропорціонально до їхньої площі. Також важлива роль відводиться чергуванню лісових та безлісних ділянок на вододільних територіях.

Цікаві результати отримані в США на основі спостережень за стоком впродовж 8 років на двох приблизно однакових вододільних територіях, які були частково або повністю покриті лісом (78,4% і 83,8% вкритість лісом відповідно). Після вирубки лісу на одній із територій, річний стік збільшився на 16,3%, незважаючи на те, що властивості ґрунтів майже не змінилися після вирубки лісу.

1.1.6. Агротехнічні заходи

У сучасних умовах агротехнічні заходи, такі як обробка цілинних і перелогових земель, а також створення лісових смуг та інших подібних ініціатив, спрямовані на підвищення врожайності сільськогосподарських культур та збереження вологості в ґрунті. Ці заходи можуть впливати на характер водостоку, як на поверхневий, так і на підземний. Відомо, що варіювання водостоку може призводити як до збільшення, так і до зменшення витрат води.

Наприклад, зниження стоку з полів досягається завдяки підвищенню інфільтрації талої та дощової води у ґрунт. При цьому різні чинники впливають на цей процес, такі як передвесняний зволоження, промерзання ґрунту, тип ґрунту, наявність снігового покриву та запаси води в снігу. Особливо важливим є перенесення снігу з ріллі, що не мають трав'яного покриву, до балок та ярів.

Навіть у вологих роках, зменшення стоку з розораних полів може бути значним, і це може призвести до практичної відсутності поверхневого стоку. Крім того, у вологих роках на полях із озимими культурами та стернями зменшення поверхневого стоку може становити від 20 до 5% порівняно з ділянками, покритими різнотравною рослинністю.

На невеликих водотоках, які дреноують обмежені водомісткі ділянки, зниження стоку талої та дощової води при повній залісненості водозборів може досягати 5-10 разів. У великих і середніх річкових басейнах зниження максимальних витрат води зазвичай менше і становить лише 2-3 рази. Підземні води також стають більш важливими для формування річкового стоку, зменшуючи вплив агротехнічних заходів на середні та великі річки. Можливість зменшення стоку може складати 6-8% завдяки розширенню посівних площ і покращеній агротехніці [11, 26].

1.1.7. Дорожнє будівництво

Дорожнє будівництво може впливати на водний баланс території та водних ресурсів. Існуючі дороги різних технічних категорій та різної довжини можуть призводити до змін в водному стоці, включаючи зміни в поверхневому та підземному стоку. Вплив доріг на водний стік може спостерігатися як на невеликих водосховищах, так і на великих вододільних площах.

Фахівці, що займаються проектуванням та будівництвом доріг, повинні враховувати, що дороги можуть призвести до перерозподілу водних ресурсів, змінюючи шляхи водостоку та спричиняючи ерозію русел водойм. Ці зміни можуть впливати на формування поверхневих і підземних вод, а також на максимальні витрати води. Деякі втрати води можуть відбуватися через накопичення води поруч з дорогами, створення водосховищ та інші гідротехнічні втручання. Регулювання водостоку за допомогою доріг, мостів та інших дорожніх споруд також є важливим аспектом.

Загалом важливо враховувати водні аспекти при проектуванні та будівництві доріг для забезпечення збалансованого водного господарства та збереження природного середовища [11, 26].

1.2. Зміни внесені урбанізацією в гідрологічний цикл та їх оцінка

Гідрологічні особливості урбанізованих територій визначаються різними чинниками:

- У міських областях великі обсяги води включаються до гідрологічного циклу, часто виходячи за межі місцевого водозбору або використовуючи підземні джерела води. Це призводить до того, що в гідрологічній системі міста беруть участь не тільки водні басейни міста, але й території з різними природними та антропогенними характеристиками.
- Внаслідок впровадження дренажних та каналізаційних систем створюються нові умови для відведення стоків, що значно впливає на швидкість стоку води у водоприймачі. Паралельно відбуваються зміни в структурі поверхні та зони аерації, тобто шару ґрунту між поверхнею та рівнем ґрунтових вод.
- Забруднення повітряного басейну та порушення природного теплового режиму призводять до змін у режимі опадів та випаровування.
- Присутність великих водопоглинальних площ і інтенсивний водозабір підземних вод руйнують природний зв'язок між поверхневими та підземними водами.

- Вода, яка скидається в водоприймач, часто є неочищеною або частково очищеною. Це призводить до створення нового антропогенного ландшафту, який включає міську забудову, перетворені та новостворені водні об'єкти, а також прилеглі пригороди та рекреаційні зони. Всі ці зміни, в першу чергу, пов'язані з площею урбанізованої території, кількістю населення, рівнем промислового розвитку, обсягами водоспоживання та системою водокористування.

З огляду на характер процесів водного обігу та кількісні відношення між його складовими, гідрологію міста можна розглядати в двох аспектах: 1) гідрологію міст та 2) промислових об'єктів;

Гідрологію впливу урбанізації на навколишнє середовище, водні ресурси та водний обіг в цілому. Вплив міста на клімат визначається зміною теплового режиму, забрудненням повітряного басейну та змінами повітряної циркуляції через забудову та інші зміни в рельєфі. Ці аспекти визначають відмінності в радіаційному балансі, тепловому режимі, режимі опадів та випаровування, надаючи нові особливості елементам гідрологічного циклу. Зона підвищених опадів зазвичай розташована в підвітряній частині міста. Локальні зміни в опадах у міських районах мають велике значення для розрахунків водного балансу та режиму води на міській території, але практично не впливають на загальний баланс води в річкових басейнах. Однією з основних рис міського клімату є виникнення "островів тепла" над містом, де температура повітря порівняно з навколишньою місцевістю є вищою. У великих містах Європи та США різниця в температурі між центральними районами та окраїнами в певних метеорологічних умовах може становити 4-6 °С. Ці теплові особливості міста створюють потенціал для збільшення випаровування. Наукові дослідження свідчать, що в таких умовах випаровування може бути на 5-20% вищим, ніж на навколишній місцевості. Але реальні значення загального випаровування з міських територій сильно залежать від місцевих умов і особливостей водного

господарства міста. В аридних і напіваридних областях, де будуються нові міста та удосконалюються старі, з великими водними поверхнями та декоративною рослинністю, яка використовується з метою гігієни та естетики, загальне випаровування може бути значно вищим, ніж на навколишній пустелі.

Глибокі зміни у природному обігу води на міських територіях спостерігаються в верхньому гідрологічному шарі - зоні аерації. Природні взаємодії між атмосферою та підземними водами, поверхневим стіканням та рухом води в зоні аерації у міських районах перериваються та змінюються в режимі та обсягу. Міста виконують кількісні та структурні перетворення у водному стоці. Під структурними змінами маємо на увазі перерозподіл стоку всередині міських територій та порушення природних відносин між поверхневими та підземними водами. Це великою мірою зумовлено тим, які джерела води, які беруть участь у системі водокористування міста, і де води скидаються після використання. Зазвичай щорічний стік з міських територій перевищує водний баланс у природних умовах. У помірних кліматичних умовах, якщо враховувати тільки води, які надходять віддалено від водозбору, збільшення щорічного стоку великих міст з розвинутою промисловістю становить приблизно 10-15% (завдяки збільшенню атмосферних опадів та коефіцієнта стоку). У районах, де річний стік визначається зливами, збільшення може досягати 100-200%. У випадках, коли води, які перекидаються з-за меж водозбору, беруть участь у системі міського водокористування або глибокі підземні води, збільшення стоку розраховується на основі обсягу водозбору за вирахуванням втрат від випаровування та інфільтрації.

У окремих випадках стік з міських територій може зменшуватися завдяки виведенню стоку поза межі водозбору або безпосередньо в море. Іноді зменшення міського стоку виникає через збільшення безповоротних втрат в системі водокористування, головним чином через випаровування з

великих водних поверхонь та насичених поверхні водоспоживання та водовідведення.

Значні зміни в міських територіях спостерігаються в межах стоку, який може зменшуватися (як правило) або збільшуватися. Значні зміни відбуваються у межах річкового стоку та мінімального річного стоку місць водотоків, коли для водопостачання беруться підземні води, і сток здійснюється у поверхневій водній потоки, або води, які перекидаються з-за меж водозбору, виводяться на місцевість. У цих випадках може спостерігатися значне збільшення стоку водотоків, який отримує відпрацьовані води.

Ключовими є дощові стоки у містах, висота, обсяг і характер яких визначають структуру та особливості міської системи стоку.

Забудова територій, асфальтування доріг та впровадження систем водостічної каналізації прискорюють стік дощових вод до водоприймачів. Коефіцієнти стоку збільшуються в декілька разів, інколи у кілька разів порівняно з природними умовами.

Гідрологічні розрахунки для визначення стоку з міських територій та їх впливу включають два основних етапи: а) аналіз та розрахунок водного балансу міста та його впливової зони; б) розрахунки та моделювання стоку в цілому або його окремих складових.

Проведення розрахунків водного балансу для міста є необхідним етапом при розробці проектів водних ресурсів міста. Ці розрахунки базуються на даних, зібраних гідрометеорологічною мережею та включають в себе інформацію про споживання води, включаючи обсяг водозбору з водних об'єктів та об'єм води, який вводиться в систему. Інформація про водокористування міста повинна бути розкладена за видами вод (поверхнева вода, підземна вода без зворотньою ділянкою річки, підземна вода з зворотньою ділянкою річки, вода, яка надходить з-за меж водозбору).

Водозабір у місті проводиться із поверхневих джерел, таких як річки, озера та водосховища. Одночасно відпрацьовані води скидаються назад у ці водні об'єкти на території міста.

Водозабір в містах здійснюється із використанням підземних водних ресурсів, тоді як скидання стічних вод відбувається в річки, що є найпоширенішим видом водокористування.

Водопостачання міста здійснюється шляхом перекидання води з інших територій, які перебувають за межами місцевих водних джерел, за допомогою каналів, які ведуть в річки або водосховища, або ж через трубопроводи, які подають воду у систему водопостачання. Відпрацьовані води знову скидаються в водні об'єкти на території міста або виводяться за межі міських меж.

Існують змішані системи, де водозабір може бути як з поверхневих, так і з підземних джерел у різних пропорціях. Спосіб скидання стічних вод може також варіюватися, відповідно до обраної системи. Важливою характеристикою водного балансу міських територій є наявність елементів витрат в системі водокористування в її видатковій частині. Ці втрати можуть бути безповоротними через нові джерела випаровування, або ж бути відправлені на інфільтрацію та поповнення підземних вод, які знаходяться за межами розглядуваної території.

Одним з ключових завдань міської гідрології є розрахунок ливневого стоку для проектування системи дренажу та каналізації. Спроби здійснити математичні розрахунки для різних ділянок міської території були вперше зроблені з середини минулого століття, використовуючи емпіричні та раціональні методи. Однак формула дозволяє розрахувати лише максимальний стік води, що виробляє значні обмеження, оскільки для практичних задач потрібно знати повний гідрограф стоку під час дощу.

Другою важливою умовою є наявність експериментальних даних, які дозволяють точно визначити параметри у формулі. Незалежно від обраного

методу моделювання, вони є необхідними для точних розрахунків стоку міста.

Для успішного вирішення завдань розрахунку стоку на різних ділянках міської території використовуються математичні моделі, які базуються на раціональних методах та їх модифікаціях, оскільки вони надають можливість розраховувати максимальний стік з міських територій в різних умовах.

Незважаючи на багато моделей, що були розроблені на основі раціональних формул та їх модифікацій, жодна з них не може бути автоматично застосована для територій, на яких експерименти або спеціальні спостереження не були проведені для точного визначення параметрів цих моделей.

Таким чином, перед нами виникає необхідність в розгляді детерміністичних моделей як найбільш перспективних інструментів для розрахунків стоку у міських областях. Ці моделі складаються з окремих блоків, які враховують основні фактори, що впливають на стік води, такі як інфільтрація, поверхнева акумуляція, швидкість стоку води по поверхні та в дренажній системі.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МІСТА НА РІЧКОВИЙ СТІК

У природних умовах вплив на водні ресурси залежить від різноманітних факторів, таких як тип, кількість та розміщення господарських об'єктів в межах річкового басейну, а також режим їхнього використання. При оцінці антропогенного впливу на водні системи необхідно враховувати заходи, які здійснюються як у руслах річок, так і на їх водозборі. В руслах річок можуть проводитися такі дії:

- Забір річкових вод для подальшого використання та їхнє відведення у той самий водойму.
- Переміщення та відведення води з прилеглих річкових басейнів.
- Відведення підземних вод після використання.
- Будівництво гребель та створення водосховищ (ставків).
- Акумуляція води в водосховищах.
- Використання водосховищ.
- Очищення води з водосховищ та її подальше стікання у водоймища та нижче гребель.
- Очищення руслової води на ділянках, де проводиться зведення депресійних лійок.
- Земельні роботи, включаючи рівнювання русел та покращення берегів.
- Будівництво мостових переходів.
- Інші види господарської діяльності.

У свою чергу в водозбірних басейнах річок можуть проводитися такі заходи:

- Меліорація, включаючи зрошення сільськогосподарських полів, осушення боліт та заболочених земель, а також дренаж територій.
- Інтенсивне використання підземних вод для забезпечення водою населених пунктів, промисловості та сільського господарства.

- Видобуток корисних копалин з водозниженням та відведенням води, що призводить до формування великих депресійних зон та окремих лійок.
- Розширення населених пунктів.
- Лісозаготівельні роботи, включаючи вирубку та посадку лісів, обробку незаростаних, перелогових та обробних полів, снігозатримання, внесення мінеральних добрив, зрошення сільськогосподарських земель тощо.
- Гідротехнічні та інженерні роботи, включаючи будівництво промислових та сільськогосподарських підприємств, залізничних та автомобільних доріг, гірничорудних підприємств, трубопроводів та інших споруджень.
- Інші господарські заходи.

Усі ці заходи можуть мати різний вплив на річковий стік та водний баланс. В основному, вони стосуються перерозподілу стіку води в часі та просторі, і величина цього впливу, як правило, зменшується зі збільшенням обсягу стоку. Наприклад, під час повені витрати води, зазвичай, становлять менший відсоток від водоспоживання та скиду води в річку, ніж в інших режимах. Витрати води також зазвичай більше на верхній частині річки, ніж на нижній. Це пояснюється характером гідрологічних процесів у річкових басейнах.

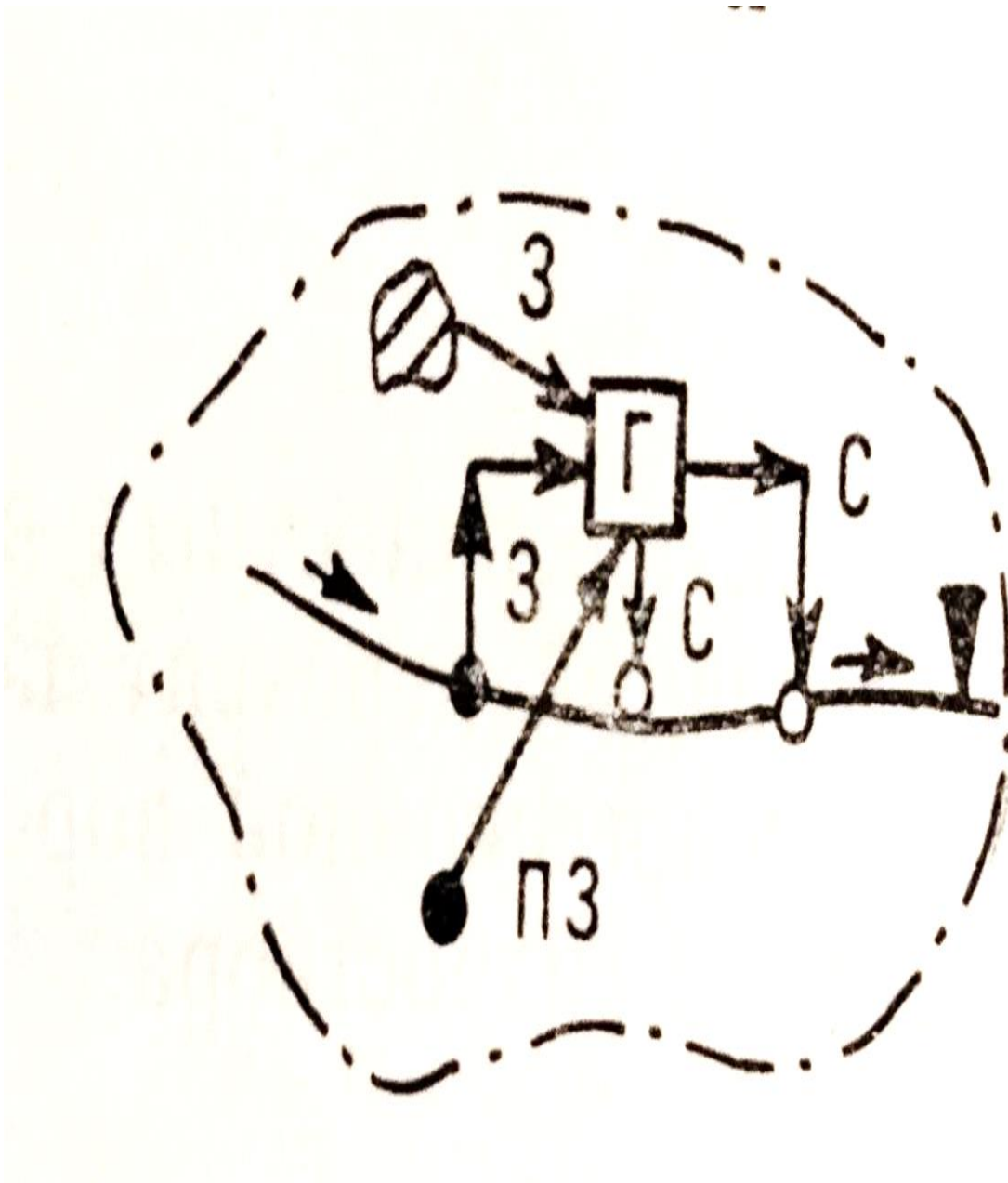
За спрямованістю антропогенного впливу на водні ресурси річок виділяють три основні типи:

1. Річки, стік яких майже не змінюється під впливом господарської діяльності (зберігають природний режим води).
2. Річки, які втрачають частину свого стоку через антропогенний вплив (зменшують свою водність).
3. Річки, які збільшують свій стік через господарську діяльність (збільшують водність).

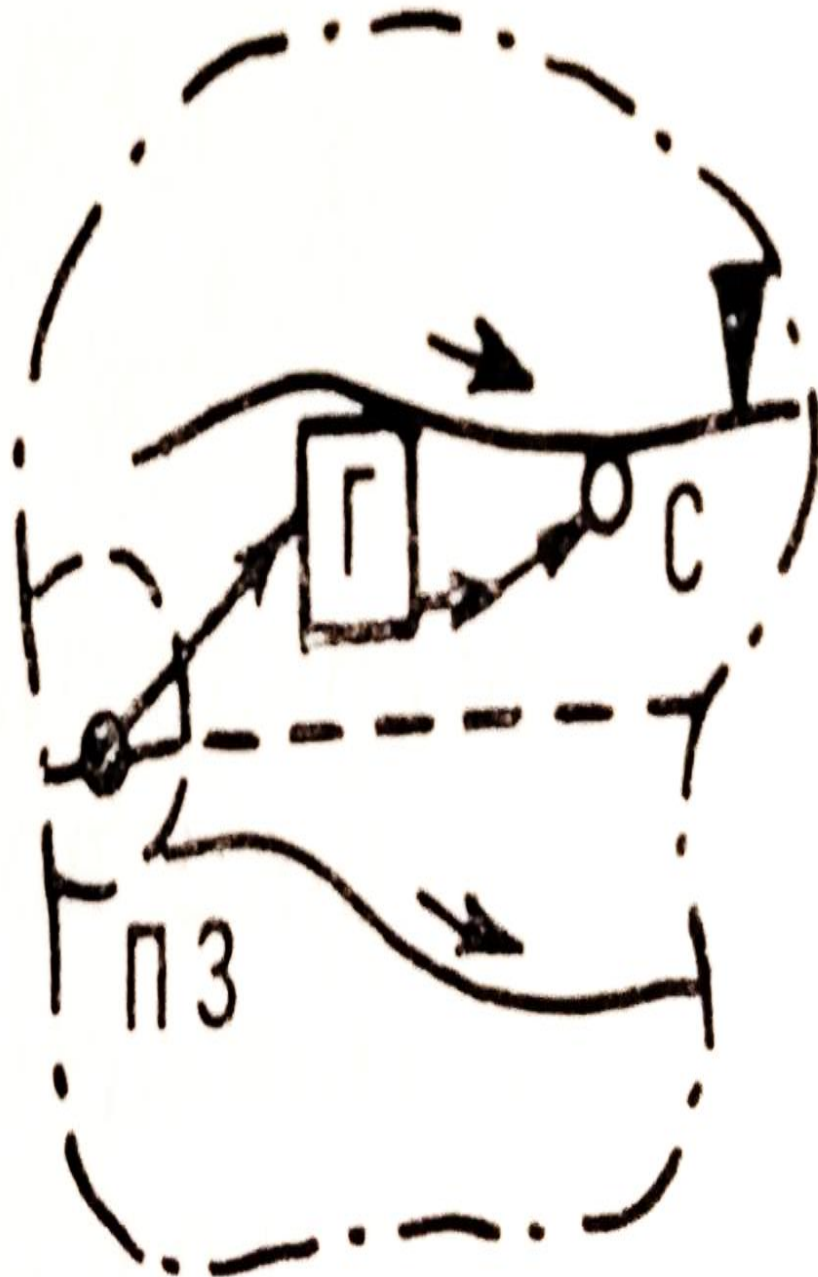
Річки першого типу відзначаються стійкістю стоку в часі та по довжині. Вплив різних чинників компенсується, і вони зберігають природний режим стоку, майже незмінний до замикаючого створу.

Приклади:

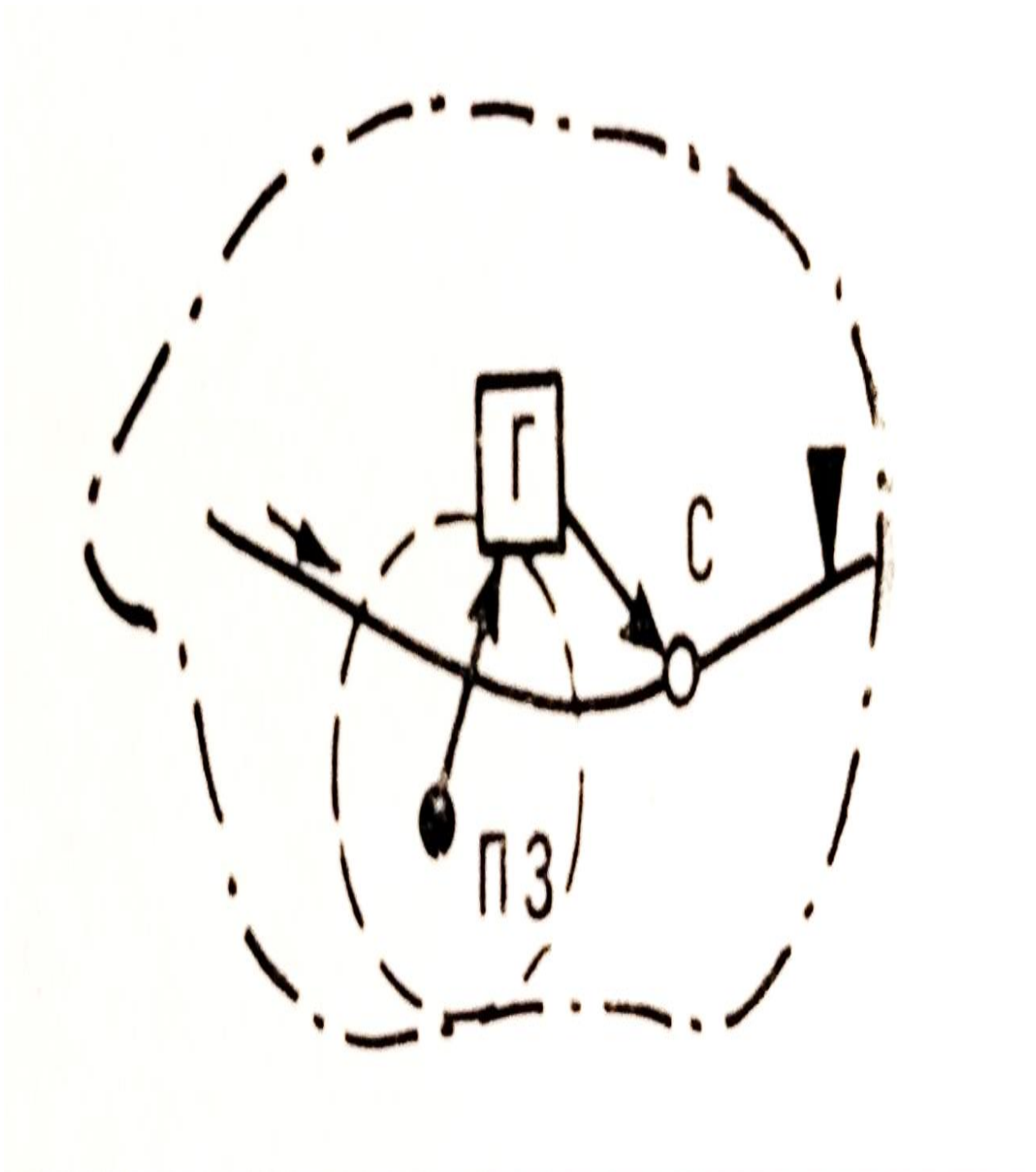
1. Використання поверхневих і підземних вод в незмінному об'ємі для гідроствору



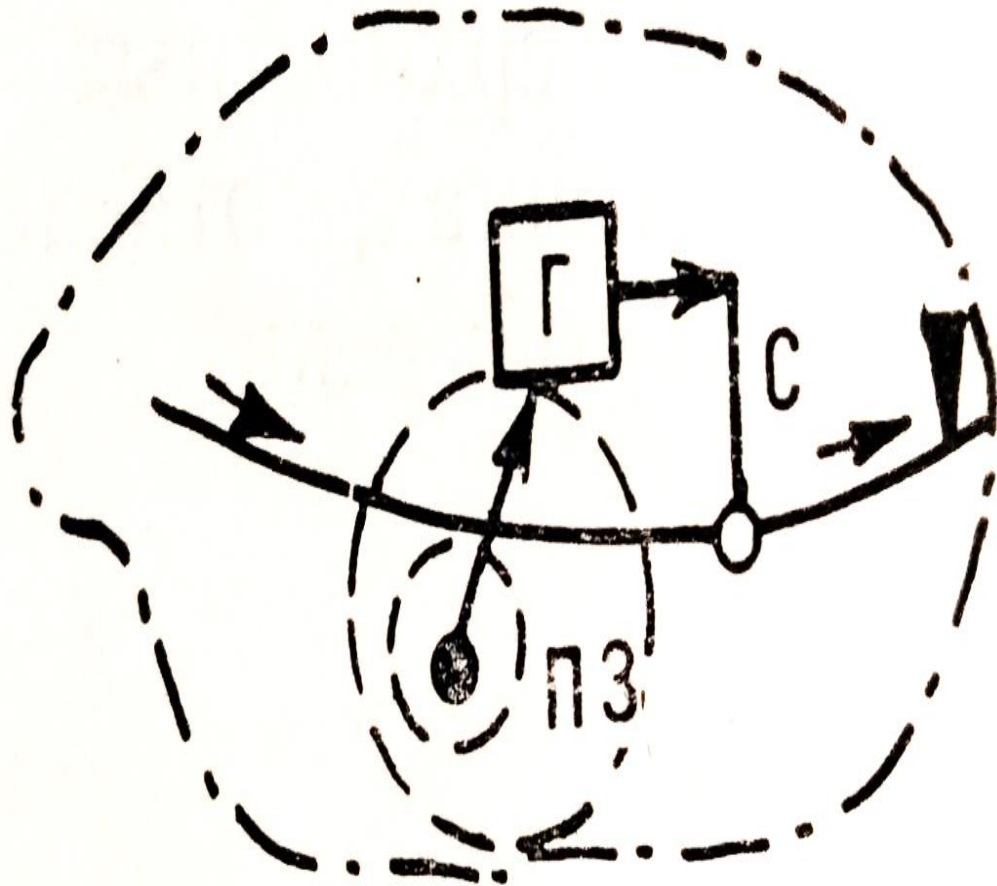
2. Забір або перехват води депресійної воронки підземних або депресійних вод у суміжних ріках і відведення їх у вже вивчаєму, в об'ємі безвідворотних втрат поверхневих вод, які у свою чергу використовуються містом.



3. Перехват підземного живлення і втрата поверхневих вод на фільтрацію в межах депресійних воронок, які створюються при зборі води з водоносних горизонтів. Відведення підземних вод річок в гідроствор у розмірі їх забору



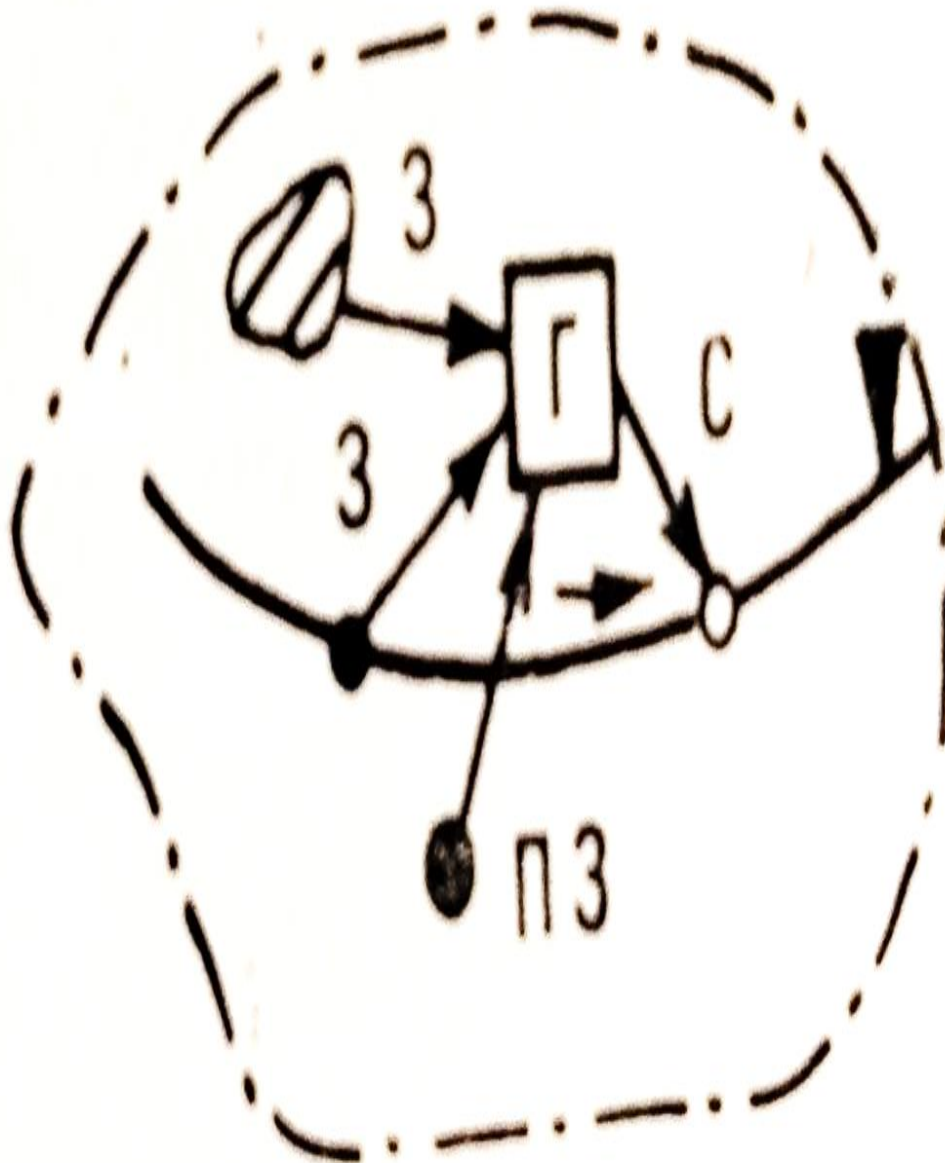
4. Втрата вод, які знаходяться на поверхні через фільтрацію в депресіонових воронках глибоких водоносних горизонтів. Також, вони мають бути рівні величині забора підземних вод.



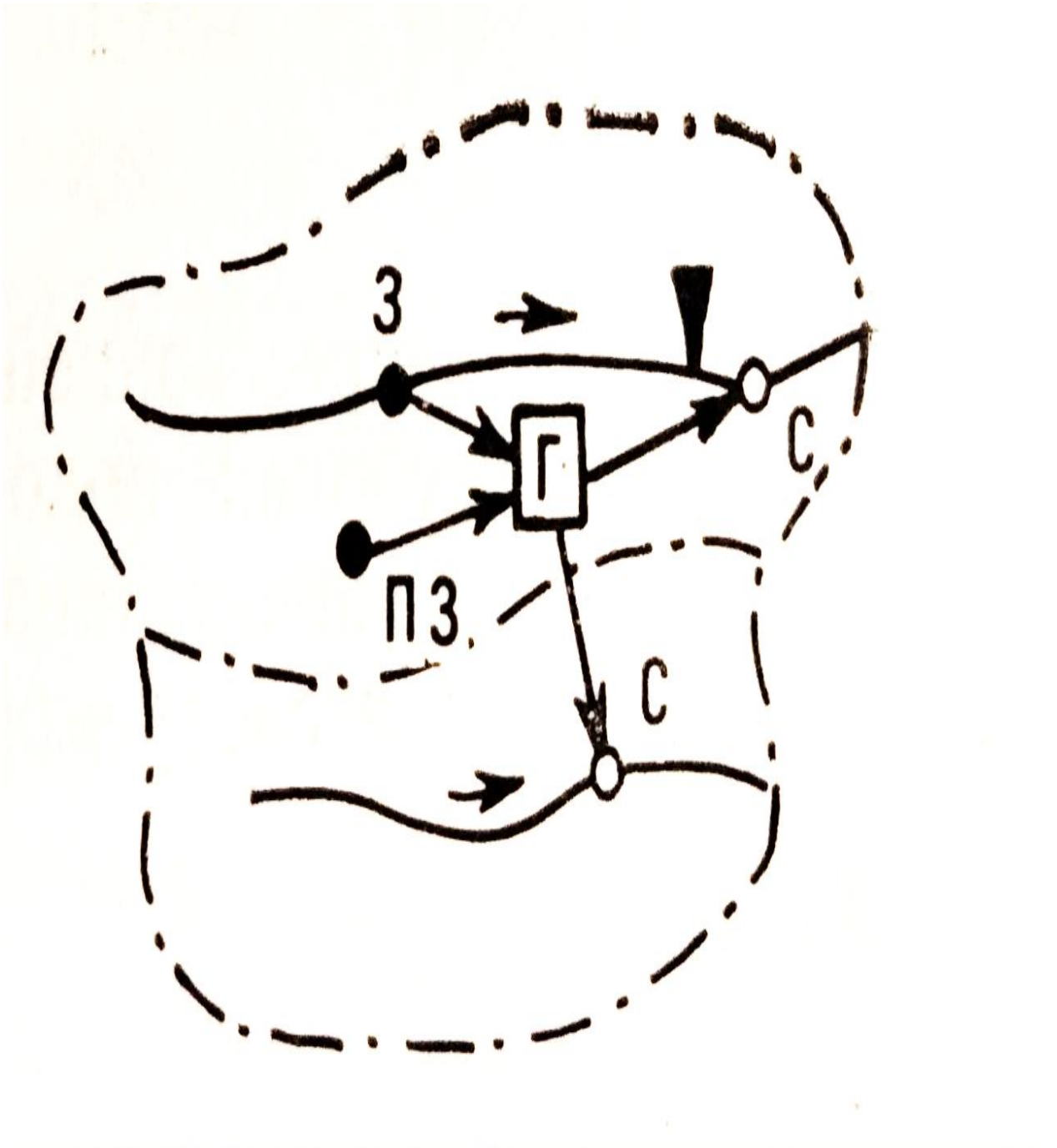
До другого типу відносяться річки, їхній стік використовується для промислових, комунальних і сільськогосподарських потреб, або зменшується внаслідок зменшення підземного припливу з водозбору, частково або повністю, де наявний вплив депресійних ліжок, який був викликаний експлуатацією вод під землею або водозниженнями при гірничорудних роботах. Сюди також включаються річки, де господарські заходи призводять до зменшення підземного стоку та стоку поверхневих вод.

Приклади:

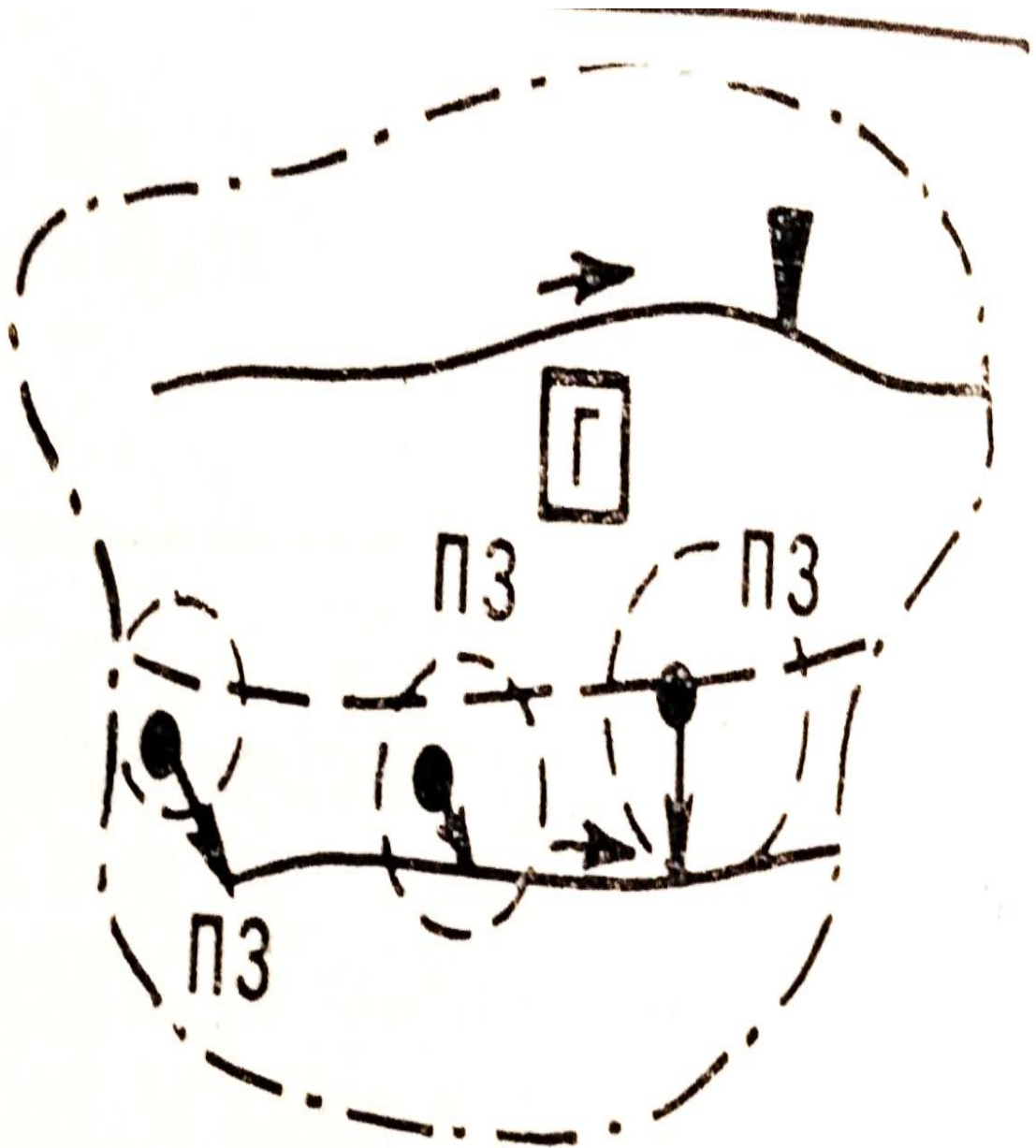
1. Забір підводних і поверхневих вод і відведення після використання до гідроствору в меншому обсязі.



2. Забір поверхневих і підземних вод для гідроствору, відведення є нижчим гідроствору або виходить за межі басейну



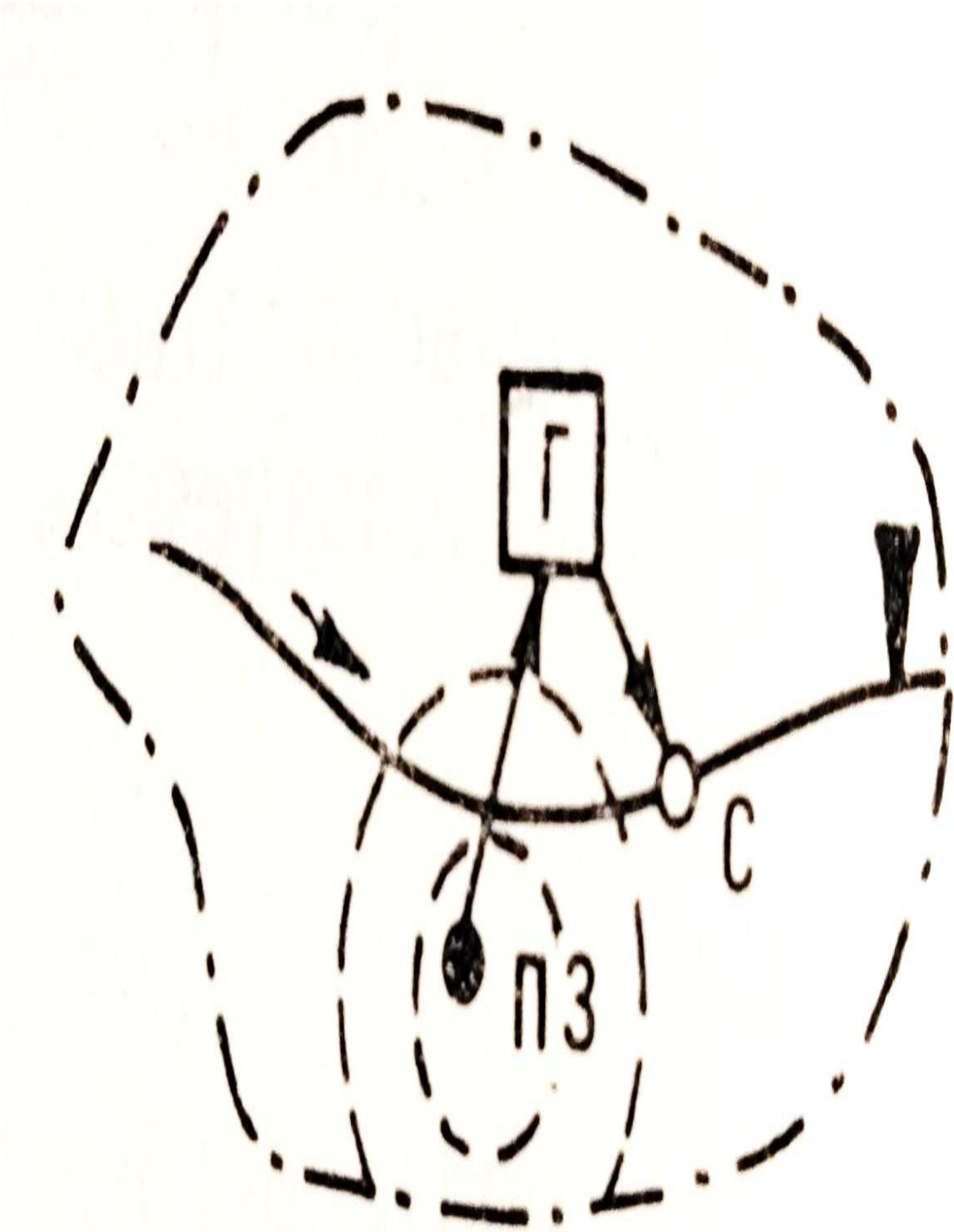
3. Забір підземних вод вивчаємої ріки водозборами, розташованими в сусідніх ріках.



4. Втрати поверхневих вод для фільтрації і їх можливий частковий перехват підземного живлення депресійною воронкою, розташованою нижче гідроствору.



5. Втрати поверхневих вод на фільтрацію у воронках глибинних водоносних горизонтів при відведенні використаних вод в меншому обсязі ніж втрат.

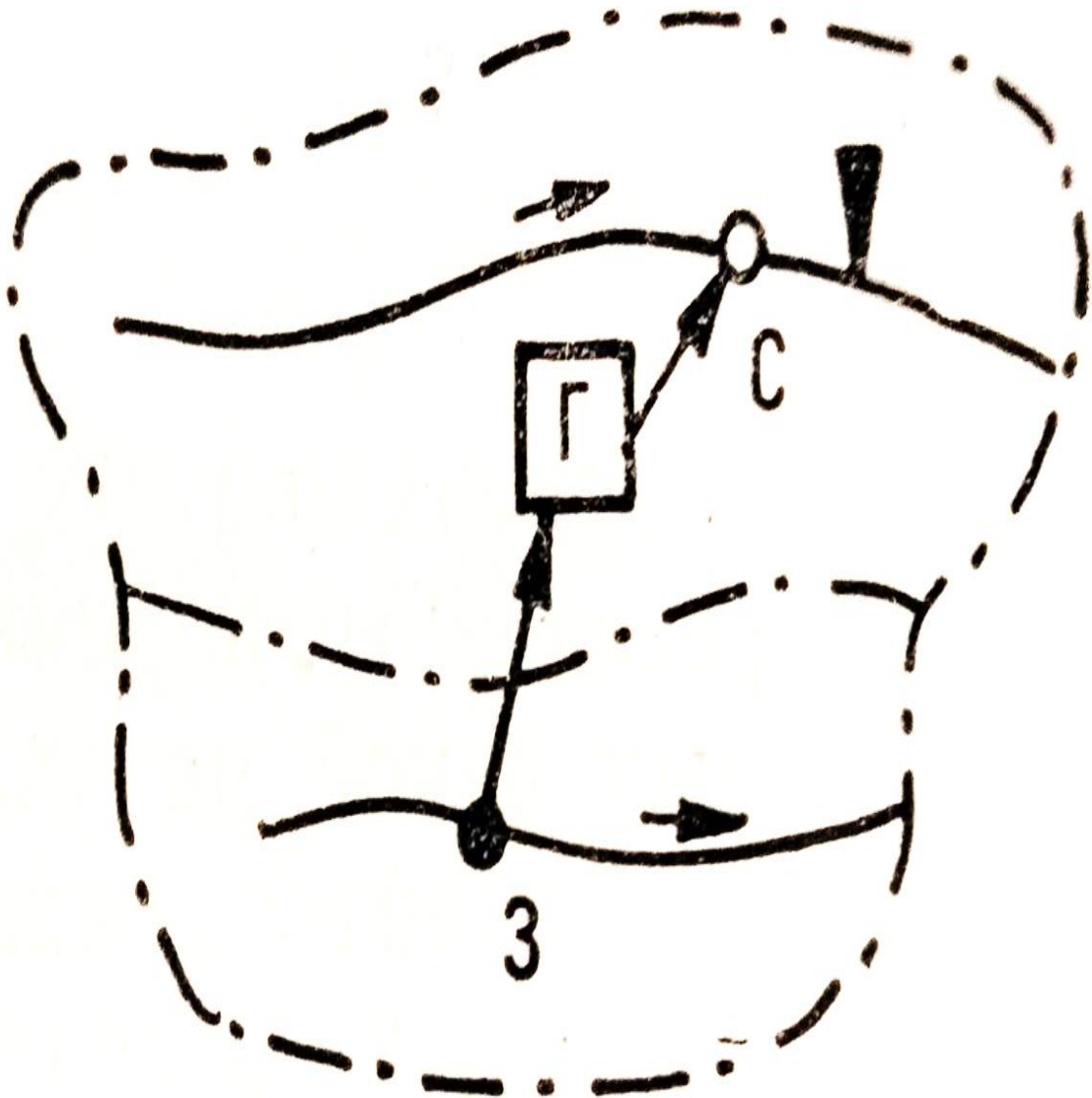


Третій тип річок характеризується збільшенням водності завдяки підведенню в них води із суміжних річкових систем, видобутку підземних вод (як дренованих, так і недренованих) і водоносних горизонтів під час

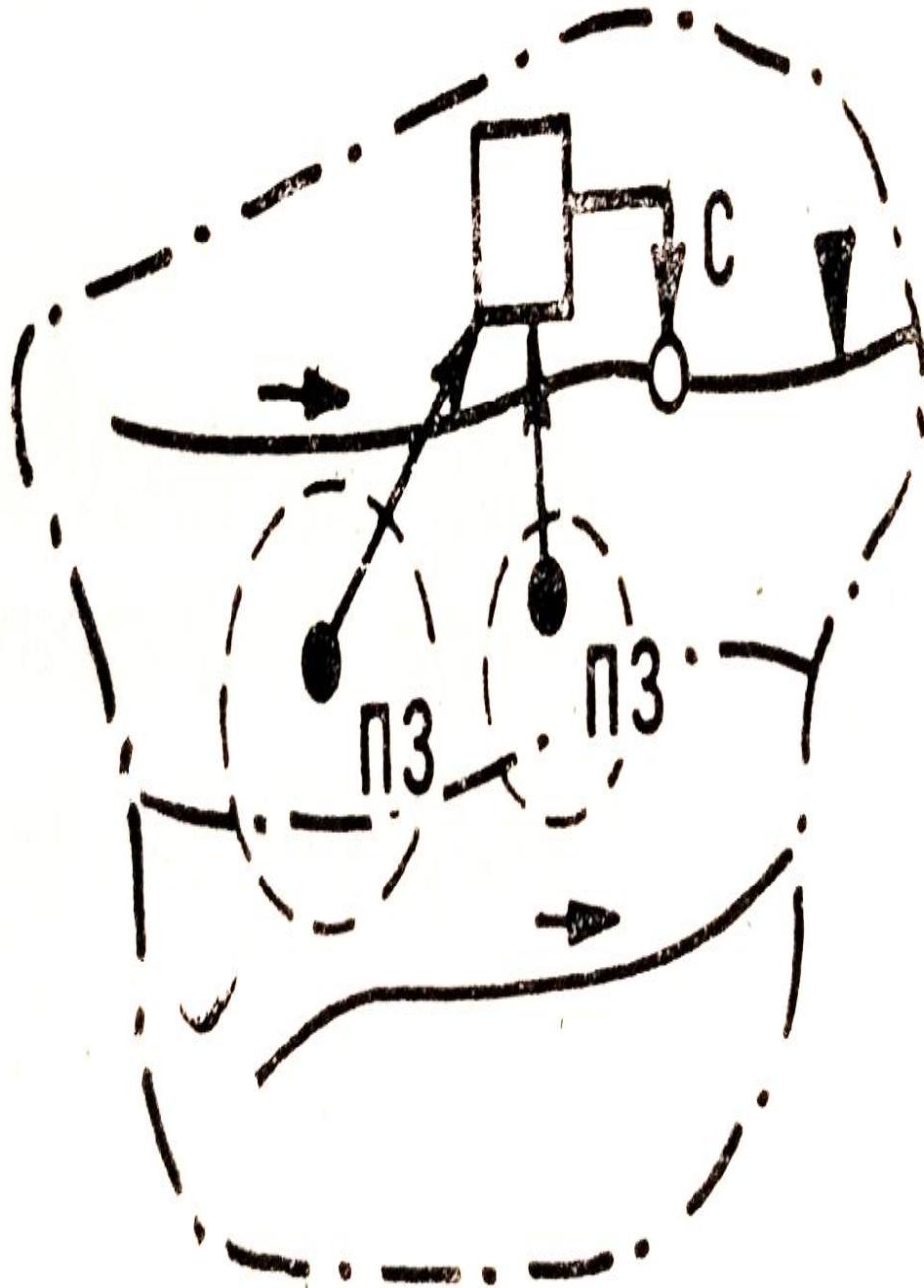
гірничорудних робіт, меліораційних заходів, включаючи осушення, збільшення води з полів зрошення та зон снігозатримання, а також від ставків і водоймищ.

Приклади:

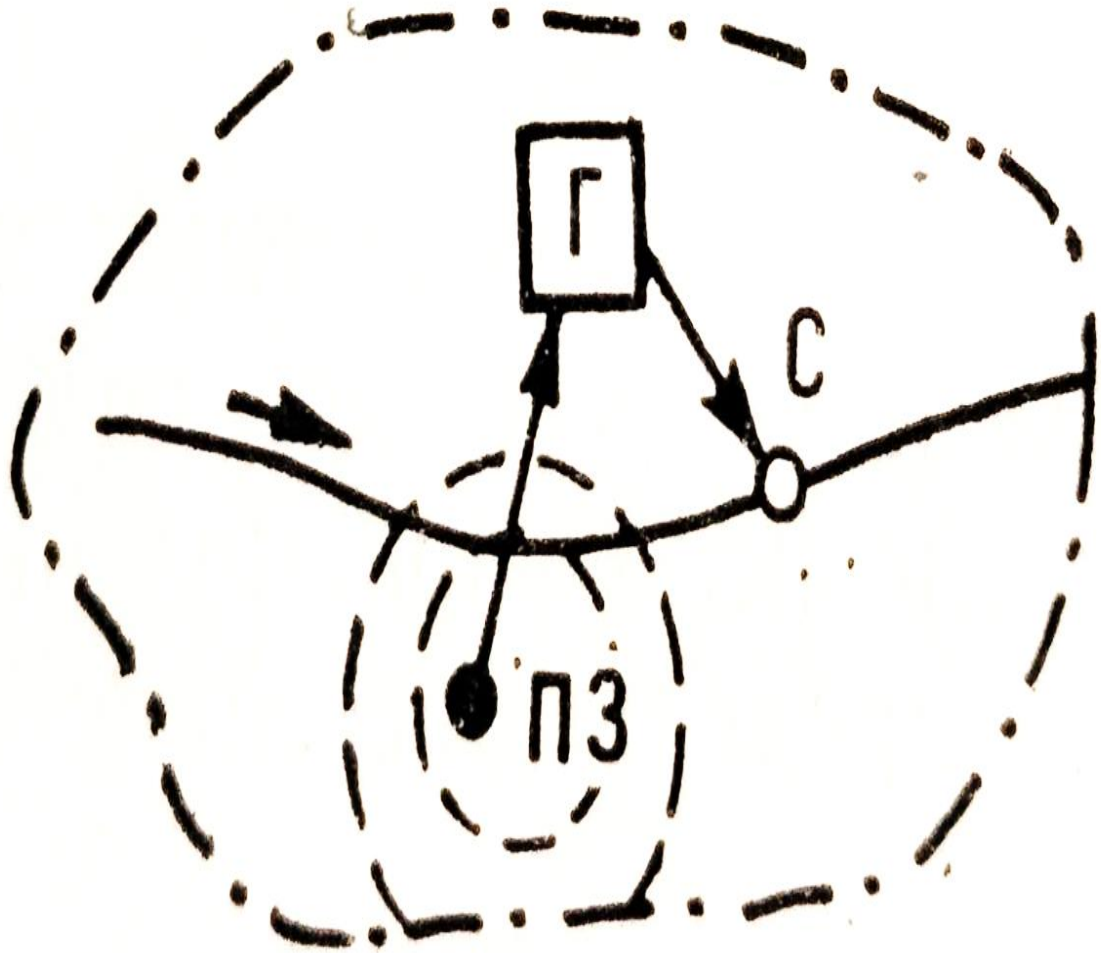
1. Збір поверхневих вод в сусідніх басейнах, відведення до гідроствору наслідуваної річки.



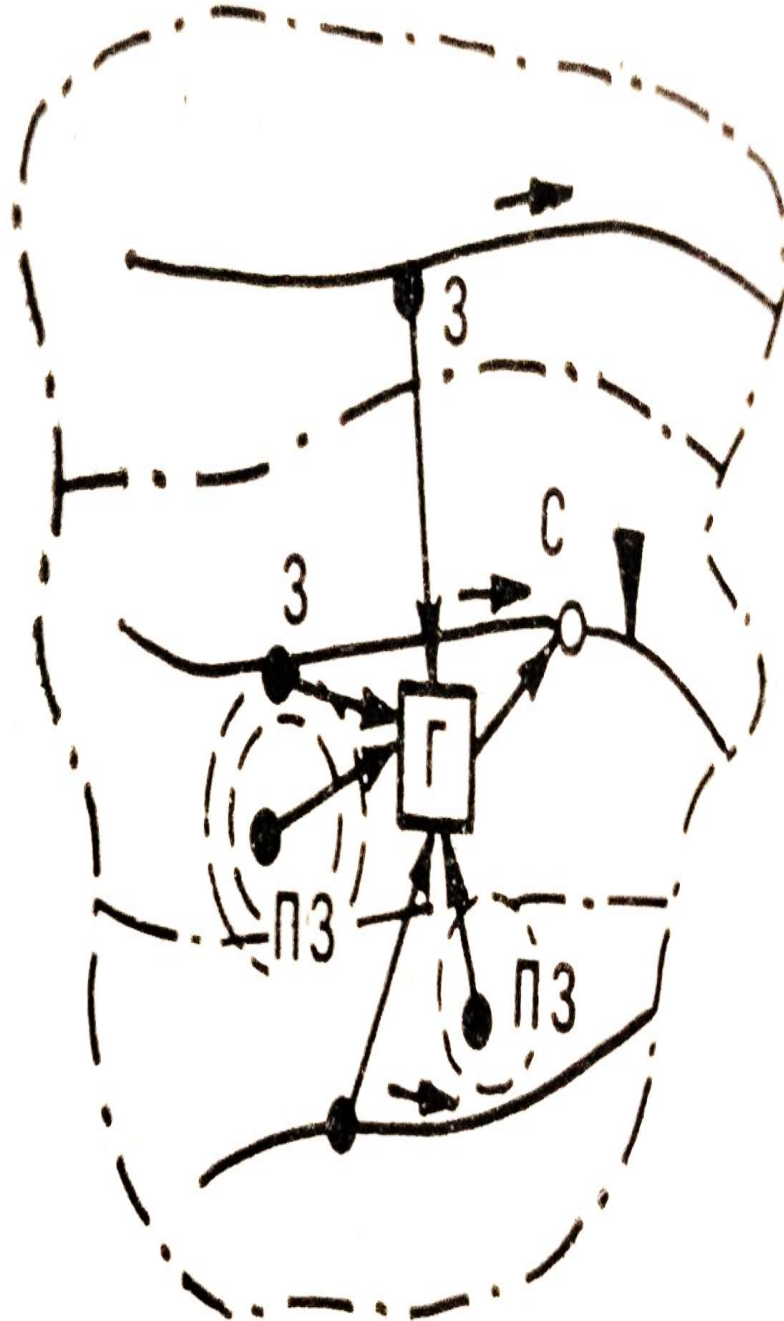
2. Забір підземних вод сусіднього річкового басейну, відведення у вивчену ріку до гідроствору.

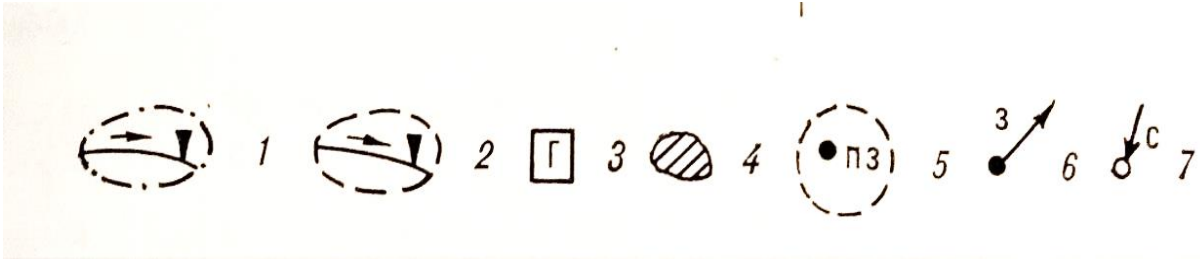


3. Перехват депресіоною воронкою підземних вод глибоководних горизонтів.



4. Забір поверхневих вод в сусідніх річкових басейнах відведених до гідроствору вивчаємої ріки.





Де, 1 - межі водозбору, 2 - межі депресіюних воронок, 3 - населений пункт, 4 - озеро або водосховище, 5 - збір підземних вод, 6 - збір поверхневих вод, 7 - скидання поверхневих і підземних вод.

Стік багатьох річок на планеті зазнає змін під впливом господарської діяльності людини, і не завжди він є точною ознакою природних водних ресурсів. Отже, для вирішення різних практичних і наукових завдань важливо мати відновлені дані щодо природного стоку або проводити кількісну оцінку його змін. Аналіз і оцінка впливу господарської діяльності на річковий стік ускладнюється тим, що на природні коливання факторів стокоутворення накладаються антропогенні впливи, і часто неможливо встановити початок цих змін.

Для кількісної оцінки впливу господарської діяльності на водні ресурси потрібно вирішити три основні завдання: 1) встановити початок порушень водного режиму, від якого подальші значення стокоутворюючих факторів можуть виявити неоднорідності; 2) визначити рівень розбіжностей в однорідності рядів при заданому рівні значущості, зокрема, перевірити вихідну гідрометеорологічну інформацію щодо гіпотези неоднорідності; 3) розрахувати виявлені зміни стокоутворюючих факторів. Встановлення початку змін водного режиму на водозборі під впливом господарської діяльності включає в себе порівняння стоку (або стокоутворюючих факторів на досліджуваному водозборі) зі стоком рік-аналогів, які знаходяться в природних умовах. Цей аналіз полягає в побудові і аналізі графічних зв'язків послідовно підсумованих значень стоку, виражених у витратах, шарі,

модульних коефіцієнтах і інших показниках.

2.1. Методи кількісної оцінки антропогенного впливу на водні ресурси

Аналіз впливу господарської діяльності на сток та водний режим річкового басейну може бути кількісно оцінений за допомогою різних методів, які часто застосовуються в залежності від природних умов [6, 11]. Ці методи можна розділити на наступні основні групи:

Статистичні методи: включають аналіз характеристик багаторічних коливань стоку, кліматичних факторів та факторів господарської діяльності у визначених точках або регіонах. Метою цих методів є встановлення зв'язку між цими характеристиками та виявлення змін в природних умовах на періоди порушень.

Воднобалансові методи: базуються на використанні натурних даних спостережень щодо елементів водного та теплового балансу річкового водозбору або його ділянки. Ці методи дозволяють визначити вплив окремих факторів господарської діяльності на стік води як окремо, так і загалом.

Методи натурного і математичного моделювання: включають створення зменшених натурних копій водозбору або його частини, активний експеримент на річковому водозборі, моделювання впливу господарської діяльності на елементи природного середовища, а також математичне моделювання процесів стоку з урахуванням факторів господарської діяльності.

Всі перераховані методи дозволяють оцінити зміни водного режиму та водних ресурсів річкового басейну під впливом різних факторів господарської діяльності, включаючи комплексний вплив [6, 11].

Статистичні методи: Вони застосовуються для визначення ступеня змін стоку під впливом господарської діяльності та відновлення його природних значень. Ці методи базуються на аналізі статистичних залежностей між різними величинами, які можуть бути розглянуті як сталі або константи.

Вони включають кореляційні зв'язки та порівняння даних спостережень за різні періоди.

Метод порівняння: Використовується для порівняння даних натурних спостережень, зібраних протягом різних тривалостей часу. Ряд спостережень поділяється на дві вибірки, одна з яких відображає природні умови, а інша - період зі зміненою господарською діяльністю. Результати порівнянь дозволяють оцінити ступінь змін розглянутих параметрів. Зазвичай разом із гідрологічними характеристиками, що зазнають змін під впливом господарської діяльності, порівнюються також метеорологічні елементи, зокрема опади, за аналогічні періоди з метою виявлення антропогенного впливу на стокоутворюючі фактори [6, 11].

Метод гідрологічної аналогії становить спосіб отримання кількісного уявлення про вплив господарської діяльності на водні ресурси та інші природні фактори. Цей метод базується на відновленні природних значень досліджуваних параметрів, які були змінені через господарську діяльність, за допомогою аналогічних значень, заснованих на багаторічних спостереженнях на природних об'єктах.

Для оцінки відхилень різних характеристик стоку від природних значень, застосовують метод аналогії, порівнюючи стік річки з порушеним режимом та стік рік-аналогів до та після початку господарських заходів. В якості аналогів обирають річкові водозбори з подібними природними умовами та довгими рядами спостережень у гідрометричних пунктах.

Метод графічного порівняння даних включає в себе побудову графіків, які відображають зв'язок між стоком досліджуваної річки та рік-аналогів за головними характеристиками стоку. У випадках, коли спостереження свідчать про тісний зв'язок, розраховують коефіцієнт кореляції. Для періоду природного водного режиму створюють графіки, які відображають зв'язок між інтегральними значеннями характеристик стоку річки з порушеним режимом та рік-аналогів. Ці зв'язки дозволяють виділити період порушень водного режиму та визначити середні співвідношення між

значеннями стоку досліджуваної річки та рік-аналогів перед початком змін. Розповсюджуючи ці співвідношення на роки з порушеним водним режимом, можна розрахувати значення природного стоку.

Метод парної лінійної та нелінійної кореляції використовується для встановлення зв'язку між різними змінними, такими як гідрологічні характеристики одного пункту спостережень і гідрологічні характеристики або кліматичні елементи в іншому пункті спостережень. Метод множинної лінійної кореляції використовується в разі коротких рядів спільних спостережень у природному режимі стоку на досліджуваній річці та ріках-аналогах. При відсутності достовірних зв'язків між величинами в обох пунктах використовується метод множинної лінійної кореляції.

Метод районних залежностей витрат води від площі водозбору ($Q=f(F)$) застосовується для аналізу закономірностей, пов'язаних із впливом азональних факторів. Цей метод передбачає поділ території на регіони з однаковими природними характеристиками або зі сукупністю ознак. Цей процес регіонального поділу є одним із методів узагальнення інформації в гідрологічних дослідженнях.

Метод парних басейнів включає порівняльний аналіз даних багаторічних спостережень стосовно водного режиму та водних ресурсів пари річкових водозборів. Два водозбори вибираються за умовою схожості їх природних характеристик, але різняться ступенем антропогенного впливу. Один з них зберігає природні ресурси в природному стані, тоді як інший піддається антропогенним втручанням.

2.2. Воднобалансові методи

Українські дослідження водного балансу [6, 11] в останні роки отримали значний розвиток у різних напрямках:

- Організація комплексних природних досліджень елементів водного балансу та їх взаємозв'язків з оцінкою впливу природних та господарських чинників.
- Розробка та вдосконалення методів вивчення та розрахунку різних складових водного балансу.
- Практика з оперативних водних балансів для окремих річкових басейнів, озер та інших водоймищ.

Ці методи передбачають дослідження елементів водного балансу та їх зміни, спричинені господарською діяльністю, в межах річкового басейну протягом різних періодів часу, включаючи багатолітні та річні цикли, сезони, місяці, декади, доби, фазоводнооднорідні періоди тощо. Важливим є врахування впливу інших складових природи, таких як тепловий та сольовий баланс. Складні процеси, що визначають водний баланс річкового басейну, можуть бути представлені математичними моделями, що включають рівняння водного, теплового та сольового балансів, а також взаємозв'язки між окремими елементами цих балансів, гідрометеорологічним режимом, характеристиками ґрунту, рослинами, тваринами та іншими факторами господарської діяльності.

Один з методів, який використовується для визначення невідомих параметрів на основі відомих фактів, - це **метод водного балансу річкового водозбору**. Рівняння водного балансу, для річкового басейну, який є замкнутим але з природним режимом водності буде виглядати таким чином:

$$P - Q - E = 0, (2.1),$$

де:

P – кількість атмосферних опадів, що випали на водозбір протягом розрахункового інтервалу;

Q – річковий стік у замикаючому створі;

E – сумарне випаровування з водозбору.

За наявності інформації про опади та випаровування, а також про зміни стоку, обумовлені господарською діяльністю, можна розрахувати природний стік і порівняти його із фактичними даними.

Для коротких проміжків часу відносно водозборів з антропогенним впливом, рівняння водного балансу значно ускладнюється та включає додаткові складові, такі як поверхневий річковий стік, підземний приплив, водозабір із річки чи водоносного горизонту, скидання та перекидання води із сусідніх річкових басейнів, а також зміни у запасах вологи в ґрунті, водоносних горизонтах, снігу, русловій мережі басейну, водоймищах, озерах, болотах та інших невизначених компонентах.

Інший метод для **оцінки антропогенного впливу** полягає у відновленні стоку річки в замикаючому створі на основі рівняння водного балансу, що включає дані про зарегульований стік, акумуляцію, використання та фільтрацію води, а також інші параметри.

$$Q_{в.е} = Q_{ф} + \Sigma(Q_{з} - Q_{с} + Q_{а} - Q_{вик} - Q_{ф.н.}), \quad (2.3).$$

Зазвичай розрахунки відновленого стоку можуть проводитися на місячних та більших часових інтервалах без необхідності врахування часу, необхідного для потоку води через річкову систему.

"Метод руслового водного балансу" представляє собою істотну складову аналізу водного балансу річкових басейнів, і використовується для вивчення взаємозв'язків між припливом і втратами води на певних ділянках річки, обмежених верхнім і нижнім створами [6, 11]. Використання цього методу дозволяє розрахувати витрати води в замикаючому створі та врахувати втрати чи збільшення обсягу води на річковій ділянці. Залежно від завдань дослідження, тривалості розрахункового періоду і конкретної ділянки річки, використовуються різні варіації рівнянь руслового водного балансу.

Наприклад, на безпритокових ділянках і під час коротких періодів, коли зміни в стокоутворюючих факторах є незначними, русловий водний баланс може бути виражений наступним рівнянням:

$$Q_d - Q_y - Q_p + Q_c \pm Q_j = 0, (2/4)$$

де:

- Q_v і Q_n позначають витрату води у верхньому і нижньому створі;
- Q_o представляє залишковий член, який враховує неповноту та похибки при визначенні інших компонентів рівняння.

Для притокових ділянок і більш тривалих періодів (наприклад, місяць, квартал, сезон) застосовуються більш докладні рівняння руслового водного балансу:

$$Q_v - Q_n + Q_{б.п.} - Q_z + Q_c - Q_{и.т} + Q_{ос} \pm Q_l + Q_{сн} \pm Q_{р.р} \pm Q_{б.р} \pm Q_{ф} \pm Q_o = 0, (2.5)$$

де:

- $Q_{б.п.}$ вказує на бічний приплив;
- $Q_{и.т}$ представляє випаровування з поверхні води та транспірацію вологи через рослини в зоні затоплення або підтоплення;
- $Q_{ос}$ описує приплив води від опадів, який не включається в Q_v і $Q_{б.п.}$;
- Q_l відображає втрати води через льодоутворення та розтавання льоду;
- $Q_{сн}$ вказує на надходження води від розтавання снігу, яке не враховується в Q_v і $Q_{б.п.}$;
- $Q_{р.р}$ і $Q_{б.р}$ представляють витрати води на руслове та берегове регулювання;
- $Q_{ф}$ вказує на фільтраційний відтік руслових вод, включаючи воду, яка повертається підземним шляхом.

Другий метод, відомий як "метод водогосподарського балансу," використовується для встановлення взаємозв'язку між водними ресурсами і водоспоживанням у межах водогосподарського району, який визначається з урахуванням географічних та економічних чинників [6, 11, 33]. **Водогосподарський баланс** виражається у вигляді рівняння для різних періодів часу:

$$Q_p = Q_z - Q_c + Q_{т(с)}, (2.6)$$

де:

- Q_p представляє витрати води і відображає загальні водні ресурси водогосподарського району;
- $Q_t(c)$ вказує на мінімальну задану транзитну чи санітарну витрату.

Водогосподарські баланси складаються для кожного району на основі інформації про водні ресурси і їх використання. Цей метод надзвичайно важливий для районів з обмеженими водними ресурсами або підвищеним попитом на воду. Для відновлення точних даних про стік річок у районах без постійного моніторингу, застосовується метод гідрометричних вимірювань. Він включає в себе аналіз рівнянь балансу руслових вод і їх впливу на приплив та витрати стоку на конкретних річкових ділянках. У випадку відсутності постійних моніторингових даних щодо річкового стоку в зоні впливу промислових міст або сільського господарства, оцінку природних обсягів стоку можна здійснити шляхом періодичних вимірювань витрат води під час спеціальних гідрометричних робіт, таких як гідрометричні зйомки.

Гідрометричні зйомки дозволяють оцінити втрати річкових вод через інфільтрацію та зменшення підземного живлення річок в зоні розвитку депресійних лійок. Вони також допомагають встановити обсяг безповоротного водоспоживання в районах промислових міст і зрошувального сільського господарства, а також оцінити збільшення стоку завдяки скиданню недренованих підземних вод, використанню водних резервуарів та перекачуванню стоку із сусідніх річкових басейнів [6, 11].

2.3. Методи натурного (фізичного) і математичного моделювання

Для оцінки впливу господарської діяльності на гідрологічний режим річок дослідники використовують методи натурного (фізичного) та математичного моделювання. Ці підходи розробляють стратегії управління процесами формування та використання водних ресурсів.

Метод натурного (фізичного) моделювання полягає в тому, що на основі теоретичних передумов розраховуються параметри досліджуваного явища, які потім відтворюються на моделі. Модель є спрощеною копією конкретного природного об'єкта в зменшеному масштабі, що полегшує дослідження потрібних характеристик без впливу вторинних процесів і явищ [6, 11, 22]. Цей метод ґрунтується на теорії подібності природних та модельних явищ, які описуються однаковими математичними рівняннями.

Методи натурного моделювання застосовуються для досліджень різних аспектів, таких як втрати води з каналів і русел рік, руслові процеси та інші складні природні явища, що піддаються змінам під впливом господарської діяльності.

2.4. Метод активного експерименту

Метод активного експерименту використовується для оцінки антропогенного впливу на окремі аспекти водного балансу водосховища та характеристики річкового стоку. Цей метод застосовується тільки на водосховищах, де є достовірні гідрометеорологічні дані, що дозволяють точно оцінити умови формування стоку та водного балансу водосховища [6, 11, 12]. Суть методу полягає в наступному: на вивченому водосховищі систематично змінюють підстилаючу поверхню (наприклад, проводять вирубку чи посадку лісу, ведуть оранку на цілинних землях, застосовують агротехнічні чи меліоративні заходи, будують різні споруди і населені пункти тощо). Після цих змін проводять спостереження за складовими водного балансу протягом ряду років. Це дозволяє визначити зміни в різних показниках водного балансу перед і після антропогенних втручань в ландшафт водосховища, визначити ступінь впливу господарської діяльності на різні гідрологічні характеристики та визначити роль різних факторів природних умов у формуванні річкового стоку.

Слід зауважити, що метод активного експерименту часто застосовується на малих водосховищах, і результати цих досліджень не завжди можна узагальнити для більших або середніх річок.

2.5. Метод математичного моделювання

Метод математичного моделювання набуває все більшого значення у вирішенні різноманітних і складних завдань, пов'язаних із прогнозуванням змін природних ресурсів.

За допомогою сучасних обчислювальних машин ми можемо врахувати та оцінити взаємодію безлічі компонентів, що характеризують стан системи. Наприклад, щоб створити комплексну економіко-математичну модель, яка буде використана для планування, а також розвитку водного господарства на території річкових басейнів [15], ми маємо враховувати такі факти: меліорацію земель, водопостачання, рибне господарство, водний транспорт, гідрологічні особливості на різних рівнях розвитку, інформацію про будову басейну та розміщення водоспоживачів та водокористувачів. Така модель повинна складатись з декількох блоків, кожен із них містить окремі групи рівнянь. Зокрема, ці блоки можуть включати гідрологічну модель, модель прогнозу водоспоживання та водовідведення, модель водогосподарського балансу та розрахунку корисних об'ємів водоймищ, модель водоймища, модель руслових систем, модель трансформації та визначення режимів стоку в русловій мережі, модель систем подачі води водоспоживачам, програми визначення витрат та оцінки складу та параметрів водогосподарської системи. Блоки водоспоживання та водних ресурсів також можуть включати інші динамічні моделі [6, 12, 13].

3. ЗМІНИ ВОДНОСТІ РІЧКИ ПРУТ В МІСТІ ЧЕРНІВЦІ

3.1. Використання води в м. Чернівці

За статистикою, місто Чернівці потребує близько 100тис м³/добу. Основною категорією її споживачів (77% реалізованої і 40% поданої в місто) є населення, рис.3.4.

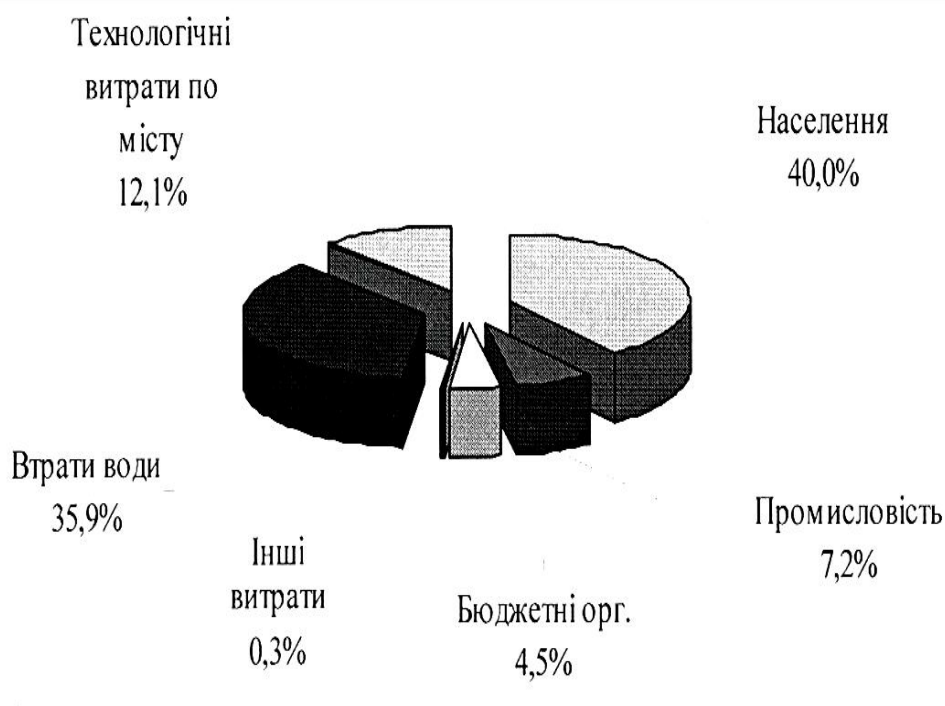


Рис.3.4. Структура споживання води з водопроводу м.Чернівці.

Фактичне середнє питоме споживання води населенням становить 152 л/люд·доб. Значна більшість жителів міста (81%) користується питною водою, яку отримують із системи комунального водопроводу, у той час як інші використовують воду з власних криниць. Місто використовує систему змішаного водопостачання, основними джерелами якої є русловий стік річки Дністер (74%) та русловий стік і підземні води басейну річки Прут (26%). Для постачання води з Дністра був введений в експлуатацію комплекс водопровідних споруд з проектною потужністю 90 тис. м³/добу [8, 9].

Частка водопостачання отримується з русла річки Прут та її приток, а також підземних водоносних горизонтів, які гідравлічно пов'язані з річкою. Водоносний горизонт сформувався в алювіальних відкладах долини річки Прут. Два водозабори, "Рогізна" та "Магала", забирають підземні води та суміш підземних і поверхневих вод. Водозабір "Біла" використовується для інфільтраційних басейнів та підземних галерей.

Загалом, на підземних водозаборах в експлуатації знаходяться 278 свердловин і 2 підземні галереї. Об'єми води, які подаються в систему водопостачання міста можна побачити на малюнку 3.5 Вода з річки Прут в межах міста використовується промисловими підприємствами, а після очищення в очисних спорудах відпрацьована вода скидається в річку Прут. Під час перевантаження каналізаційних колекторів частина стічних вод потрапляє в невеликі річки міста та подальше в Прут через аварійні скиди при інтенсивних дощах.

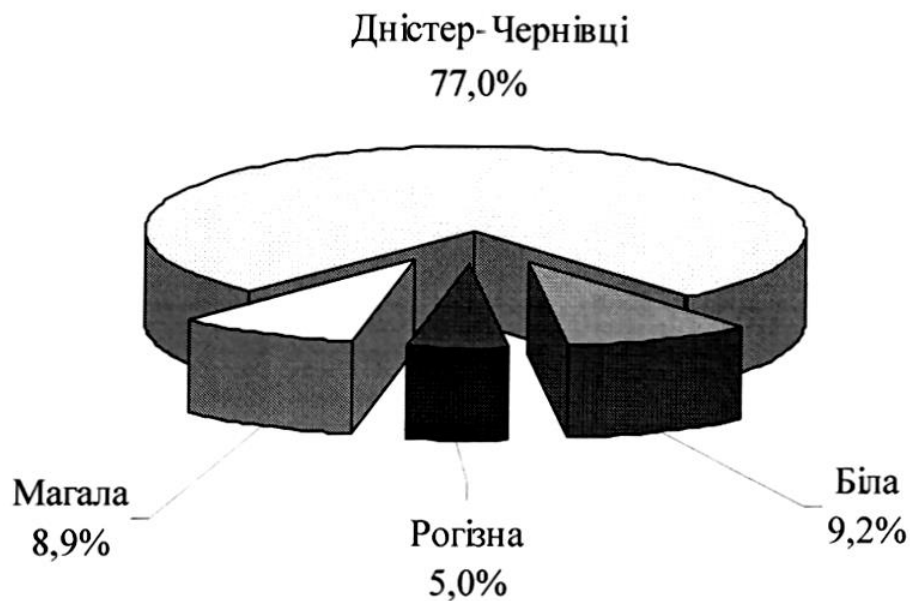
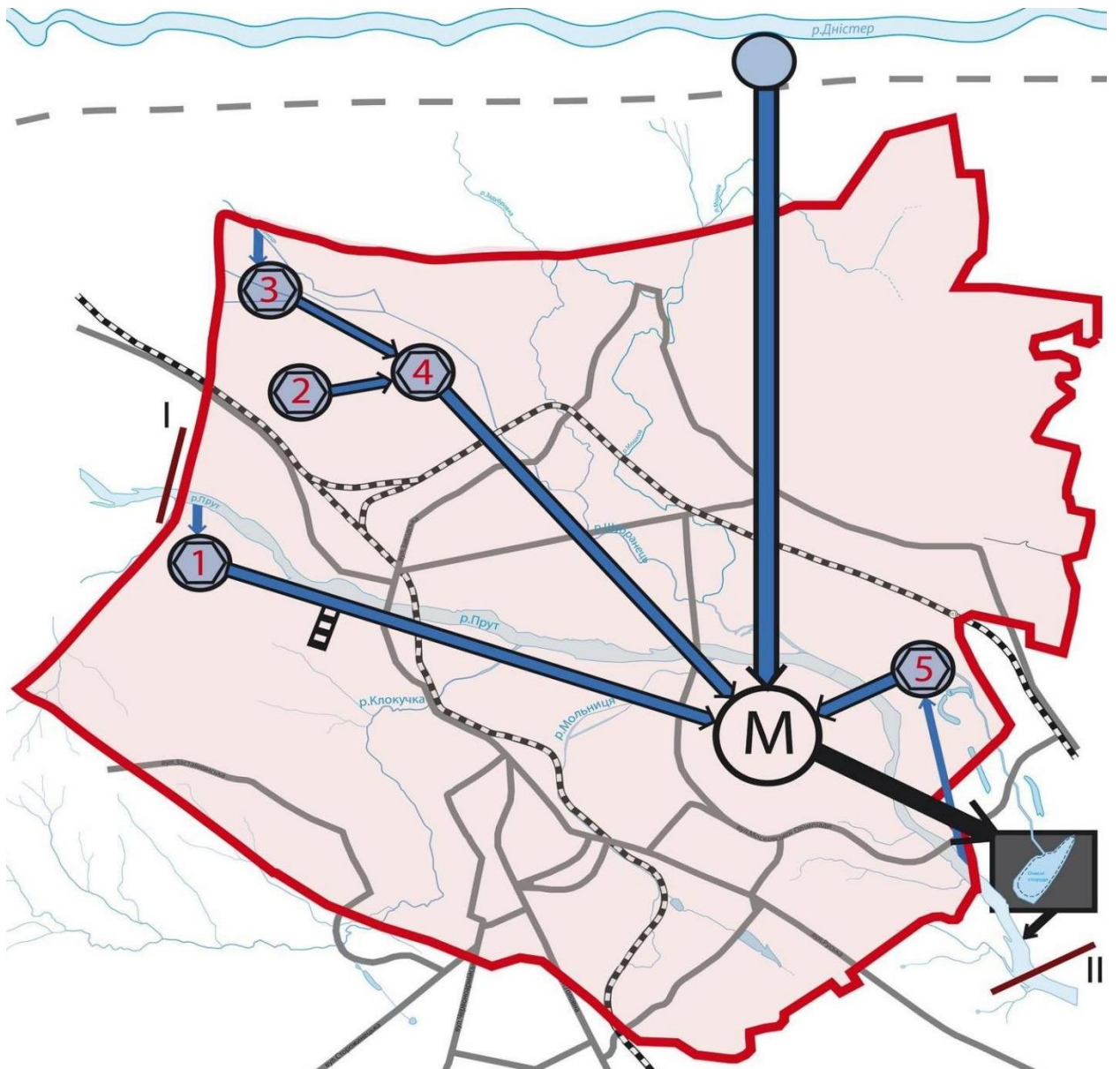


Рис.3.5. Частки джерел в водопостачанні м.Чернівці.



Умовні позначення

- | | | | | | |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|
| | - розрахунковий ствір | | - забір поверхневих вод | | - очисні споруди каналізації міста |
| | - лінія вододілу | | - місто (інтегрований водокористувач) | | потоки: |
| | - гідрологічний пост | | - водозабір з р.Дністер і станція водопідготовки | | - питної води |
| | - забір підземних вод, контур депресійної лійки:
1. Біла, 4. Рогізна,
2. Ленківці, 5. Магала,
3. Очерет, | | - водогін р.Дністер-м.Чернівці | | - стічних вод |

Рис.3.6. Узагальнена схема водокористування в місті Чернівці.

3.2. Балансова методика розрахунку змін водності.

Для оцінки змін водності річки, що пролягає через урбанізовану територію, може бути використаний метод водного балансу. Балансове рівняння для річки можна подати у такому вигляді :

$$Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6-Q7-Q8-Q9-Q10-Q11-Q12 = \pm \Delta,$$

де згідно з роботами Ніколаєва А.М. : “Q1 – витрата води по основному руслі на вхідному створі; Q2 – витрати притоків на розрахунковій ділянці; Q3 – стік поверхневих вод безпосередньо в русло (не враховано як стік притоку з дренажно-зливової каналізації); Q4 – перекидання води з-за меж водозбору в річки або гідравлічно зв’язані з ними водойми; Q5 – рідкі і тверді атмосферні опади, що випадають на поверхню русла і гідравлічно зв’язаних з ним водойм; Q6 – скид стічних вод; Q7 – витрата у замикаючому створі; Q8 – забір води з водних об’єктів; Q9 – забір підземних вод, гідравлічно зв’язаних з рікою; Q10 – відведення стічних вод за межі водозбору; Q11 – випаровування води з основного русла і гідравлічно зв’язаних з ним водойм; Q12 – втрати на фільтрацію в системах водопостачання” [13 с. 47]

Значення і знак Δ визначаються величинами втрат води між створами, включаючи природні та системи водопостачання, а також об’ємом використання води, гідравлічно не зв’язаного з річкою. Основне рівняння включає ряд членів, величини яких для досліджуваної ділянки не можуть бути точно визначені.

Наприклад, значення Q7, яке є основним членом витратної частини балансового рівняння, на досліджуваній ділянці не міряється. Таким чином, зміни водності ділянки річки Прут в межах Чернівців під впливом господарської діяльності оцінюються за спрощеним балансовим рівнянням:

$$W_{ск} - W_{заб} = \pm \Delta W,$$

де:

$W_{ск}$ – об’єм водовідведення в річку Прут в межах міста;

$W_{\text{заб}}$ – об’єм забору води з русла річки Прут та гідравлічно зв’язаних з нею підземних вод;

ΔW – зміни водності річки.

Аналізуючи роботу Ніколаєва А.М., можна дійти висновку, що: “Прихідна частина рівняння водного балансу $W_{\text{ск}}$ визначається, як:

$$W_{\text{ск}} = (W_{\text{Дн.пов}} + W_{\text{Пр.пов}} + W_{\text{Пр.підз}}) - W_{\text{втр.трансп.}} - W_{\text{втр.вип}}, \quad (3.3)$$

де: $W_{\text{Дн.пов}}$ – об’єм води, що перекидається з басейну р. Дністер в басейн р.Прут;

$W_{\text{Пр.пов}}$ – об’єм води, що забирається з русла р. Прут в межах міста;

$W_{\text{Пр.підз}}$ – об’єм води, що забирається в межах міста з підземних водоносних горизонтів долини р. Прут” [14 с. 40] .

Однією з основних рис структури рівняння водного балансу урбанізованої території є наявність елементів, що характеризують втрати води в системі водопостачання [10,12,14]. Ці елементи можна розділити на дві групи:

Перша - втрати при транспортуванні;

Друга - безповоротні втрати при використанні, зумовлені випаровуванням.

Враховуючи це, до розрахункового рівняння водного балансу доцільно ввести такі елементи: “ $W_{\text{втр.трансп.}}$ – об’єм води, що втрачається при її транспортуванні з басейну Дністра в басейн Пруту і її втрати в водопровідних мережах самого міста; $W_{\text{втр.вип}}$ – безповоротні втрати води в процесі використання. Витратна частина балансу є сумою ($W_{\text{Пр.пов}} + W_{\text{Пр.підз}}$), тобто загальним об’ємом забору руслових і підземних вод з басейну р. Прут в межах міста” [13 с. 48].

3.3. Оцінка об'єму стоку малих річок міста.

Вплив на рівень водності урбанізованих річок зумовлюється як природними факторами, так і водно-господарськими діями. Водно-господарські заходи, які проводяться вздовж річкових систем та на їх водозбірних територіях, мають значний вплив.

Розширення площі водозбору від верхньої до нижньої частини річкової системи сприяє збільшенню бічних притоків. На вивченій території річки Прут впадають постійні та тимчасові річки, найбільшими з яких є Клокучка, Мольниця та Шубранець (див. рис. 3.1).

Міська територія розділена на п'ять водозбірних басейнів, їх найменування та площі наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Водозбірні басейни території м.Чернівці .

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

Практично увесь лівий берег Чернівців, особливо Садгірський адміністративний район, належить до басейну річки Шубранець, яка є найбільшим допливом Пруту у межах міста. Гідрографічна система правого берега, зокрема Першотравневого і Шевченківського районів, більш складна, оскільки включає чотири водообмінні системи. Це системи правих приток Пруту у місті: річки Клокучки, Мольниці, невеликих річок правого насипу головної річки та річки Коровія. Басейни річки Коровія і декількох

безіменних лівобережних притоків Дерелуя дренують воду з південно-західної та південно-східної частин міста.

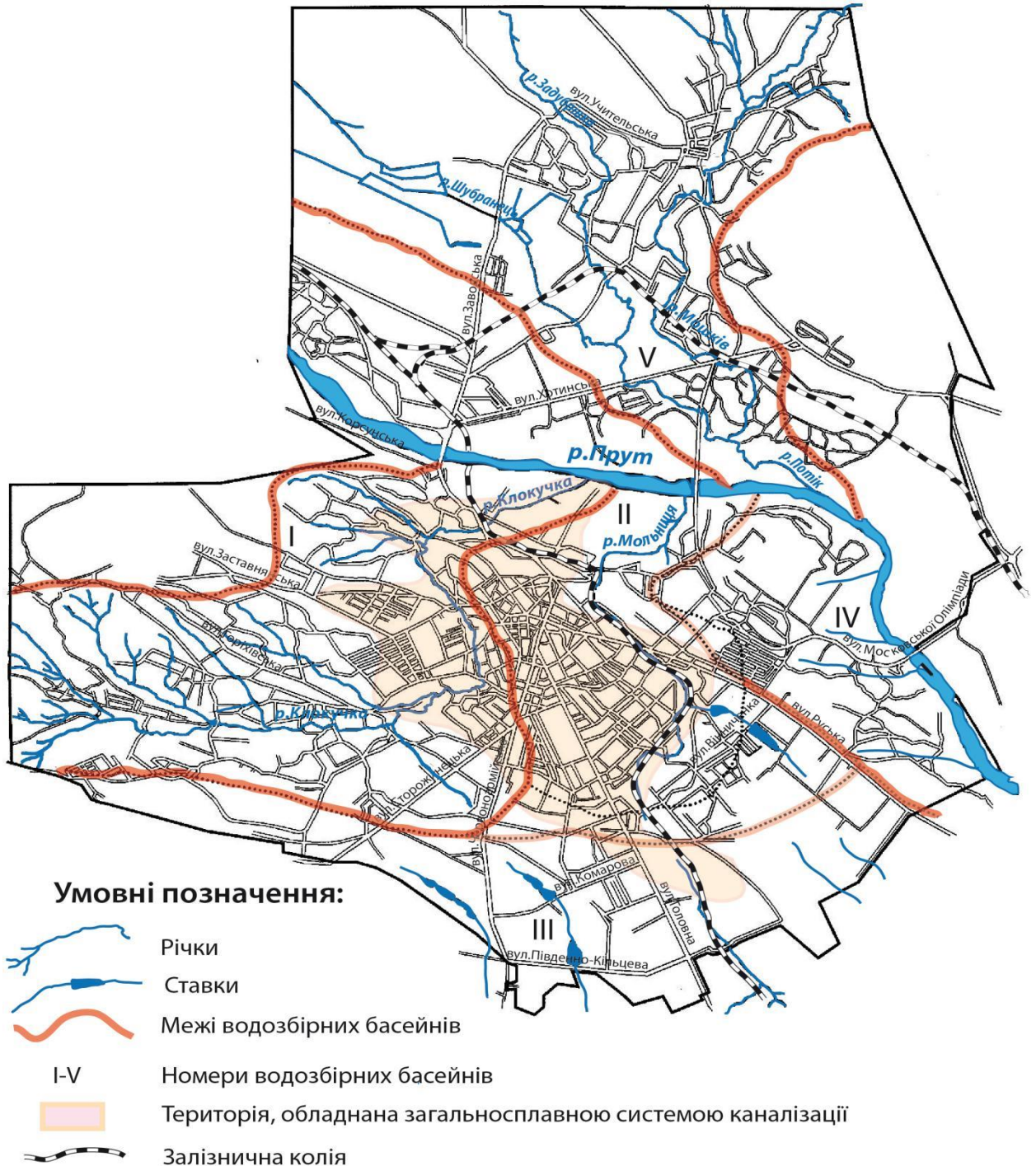


Рис.3.1. Водозбірні басейни території м. Чернівці [17].

Середній річний стік цих водойм важко точно визначити через відсутність систематичних гідрологічних даних. Без цих даних, норму річного стоку визначають за допомогою методу гідрологічної аналогії або картографічних методів. Річка Дерелуй є аналогом для водойм міста; її стік визначений як 3,63 літра на секунду на квадратний кілометр на основі гідрологічних спостережень. За картою середньорічного стоку річок (із врахуванням недостатньої дренажу підземних вод) отримано значення приблизно 4,2 л/с·км². Для басейнів річок Чернівців зафіксовано трохи менший стік, близько 2,5–2,6 л/с·км². Ці значення вказують на середній рівень стоку природних водойм у місті.

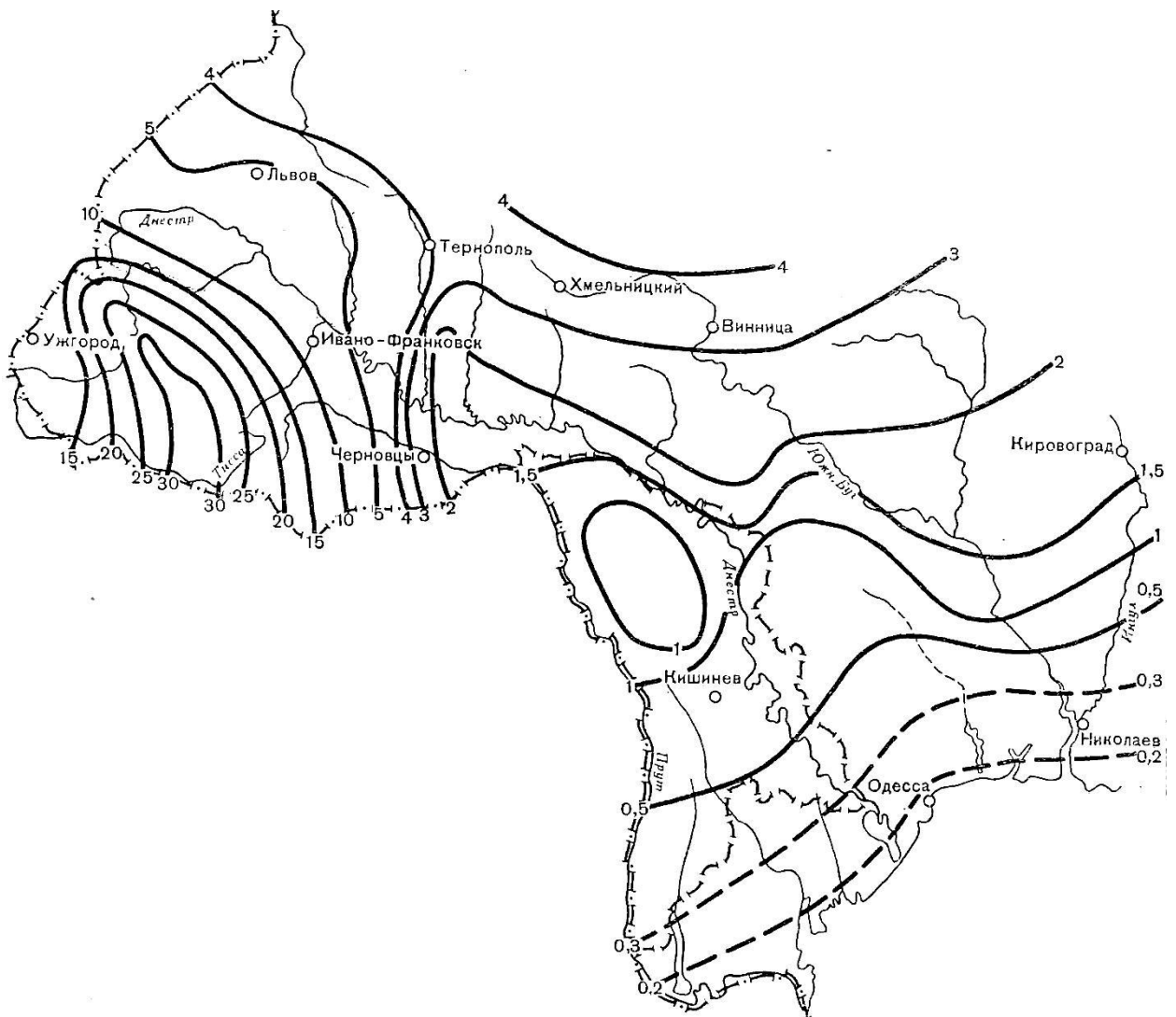


Рис.3.2. Модулі середнього річного стоку річок Західної України і Молдови, л/с км² [22].

Розраховані за прийнятим значенням модуля стоку ($3,63 \text{ л/с км}^2$) величини середніх річних витрат малих річок міста Чернівці наведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2.

Середні річні витрати води річок м.Чернівці.

Ріка	Площа водозбору, км^2	Модуль стоку води, л·с/км^2	Середня річна витрата, $\text{м}^3/\text{с}$.
Клокучка	18,4	3,63	0,07
Мольниця	11,7	3,63	0,04
Шубранець	196	3,63	0,71
Малі річки правого берега р.Прут	5,16	3,63	0,02

Отже, водність річки Прут в межах нижнього розрахункового створу м Чернівці зростає невеликими темпами, мінімально від $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$. Саме збільшення водності прямолінійно відбувається також за рахунок підземного стоку.

3.4. Зміни водності річки Прут

Антропогенний вплив на водні ресурси річок може бути класифікований на три основні типи відповідно до спрямованості:

Річки, які залишаються стійкими водності, де різниця впливів компенсується, що забезпечує практично стабільний стік до замикаючого створу, подібний до природного стоку.

Річки, які використовуються для різних потреб і їх стік зменшується через індустріальне або сільськогосподарське використання, або через скорочення підземного витоку у зоні депресійних лійок.

Річки, де водність зростає через відведення додаткових водних потоків з інших систем, водозабору з підземних джерел, водних вибуттів із звалищ снігу, а також урбанізованих територій.

Для водних потреб міста Чернівці беруть воду з річки Прут у невеликих обсягах, що становлять максимум 21% від загального обсягу. Основна кількість води, що використовується для міста, отримується з річки Дністер. Але основний навантаження через воду на місто відбувається через скиди стічних вод у каналізаційну систему. Ці скиди складають до 37% від загального обсягу, з яких до 69% є неочищеними, а забруднення речовинами становить до 70% від загального обсягу.

Режим водовідведення, як ключовий фактор навантаження води, залежить від узагальнених тенденцій використання та відведення води. Протягом періоду з 1990 по 2022 рік обсяг використання прісної води в Чернівцях зменшився практично в 3,7 рази, з 43,12 млн. м³ до 11,0 млн. м³.

Варто виділити три основних періоди використання води:

Упродовж 1990–1997 рр. використання води постійно зменшувалося з 43,12 до 26,92 млн. м³ із середньорічною інтенсивністю близько 2,3 млн. м³ на рік.

У 1998–2002 рр. спостерігалася відносно стабільна ситуація, коли середній обсяг використання води майже не змінювався і становив близько 28,40 млн. м³.

З 2003 по 2022 рр. Спостерігалася інтенсивне зменшення обсягу використання води, який знизився від 25,03 до 11,0 млн. м³.

Однією з основних причин зменшення використання води у Чернівцях стало зменшення її використання в побутових послугах та для особистих потреб. Існує кілька причин цього явища. По-перше, відчутно зросла вартість води з міського водопроводу, а також стало ефективніше відслідковування

використання, що призвело до більш обіднаного використання ресурсу. По-друге, у нових районах міста більшість будинків не мають доступу до міських систем водопостачання та каналізації. Наразі переважає приватний житловий сектор, який користується самостійними системами водопостачання та відведення, базуючись на підземних водах, і це не збільшує використання води з централізованих джерел.

Це призвело до скорочення обсягів відведення води до річки Прут. Загалом, у період вивчення обсяги відведення води зменшилися на 21,53 мільйони кубічних метрів, з 40,19 млн до 18,66 млн у 2021 році. Зменшення обсягів відведення води відбувалося приблизно однаково, з короткочасними періодами збільшення лише у 1999, 2003 та 2006 роках.

Основні зміни рівня води у річці Прут відбуваються через:

- взяття води з річкового русла та підземних джерел, а потім відведення після використання;
- перекачування води з інших річкових басейнів та подальше відведення після використання;
- відведення після використання підземних вод, які не мають зв'язку з річкою.

За проведеними аналітичними спостереженнями можна свідчити, що що під впливом господарської діяльності водність ділянки р.Прут в межах м.Чернівці дещо збільшується. Об'єм водовідведення, сформований, в основному, за рахунок перекидання вод з басейну р.Дністер, перевищує сумарний забір з басейну р.Прут в межах міста.

Ступінь змін водності ділянки р. Прут в межах м. Чернівці під впливом господарської діяльності.

Рік	Зміни водності, ΔW	
	млн м ³	м ³ /с
2005	17,87	0,57
2006	18,01	0,57
2007	11,92	0,38
2008	12,64	0,40
2009	14,32	0,45
2010	13,59	0,43
2011	17,33	0,55
2012	16,50	0,52
2013	18,04	0,57
2014	14,72	0,47
2015	12,08	0,38
2016	14,00	0,44
2017	13,61	0,43
2018	8,32	0,26
2019	7,33	0,23
2020	7,57	0,24
2021	8,51	0,27
2022	4,42	0,14

Результати розрахунків показують, що, незважаючи на загальне зменшення використання води, навантаження на річку залишається майже сталим. Від 1% до 7% води, що потрапляє у річку Прут через людську діяльність, становить від загального річного обсягу.

Динаміка змін у водності річки також підтверджує стале зменшення навантаження. Мінімальний вплив господарської діяльності на річку може пояснюватись поганою ефективністю систем водопостачання, де втрати становлять значну частину загального використання води. Система водопостачання міста є найбільш проблемною з точки зору втрат.

Втрати, обчислені за різними методами, складають від 28% до 48% від забору води. За даними Держводгоспу України, загальні втрати становлять у середньому 38%, а втрати при транспортуванні - 28%. Водоканал Чернівців

показує, що втрати при транспортуванні складають у середньому 36%, а загальні - 48% від забору. Різниця у цифрах може бути через різні методи розрахунків: деякі враховують втрати при транспортуванні як різницю між забором і реальним використанням, інші - як різницю між забором і реалізацією води.

Це свідчить про необхідність повної заміни мереж водопостачання у місті, де більше 60% мереж потребують зміни, їх загальна довжина практично 390 кілометрів. Ці цифри відповідають середнім показникам для комунального сектору в Україні.

ВИСНОВКИ

1. Водність річок, які дренують урбанізовані території зазнає помітних змін. Рівень змін водності визначається характером використання води на території міста. Головними чинниками цих змін є перекидання об'ємів води через вододіл сусіднього водозбірного басейну і забір підземних вод, гідравлічно незв'язаних з річкою.
2. Використання води містом Чернівці призводить до збільшення водності річки Прут. Водність збільшується як за рахунок природних причин - зі стоком допливів Пруту в межах міста, так і скидання в річку зворотних вод міста. Сумарний стік малих річок оцінюється всередньому за рік в 1 метр кубічний за секунду. Скид зворотніх вод міста становить близько 0.5 метрів кубічних за секунду.
3. Зміни у водному режимі через техногенні впливи вказують на зменшення навантаження на водні ресурси протягом вивченого періоду. Частина об'ємів води, які перекидаються з річки Дністер в басейн річки Прут втрачаються в процесі транспортування, поповнює запаси підземних вод. Втрата води в мережах водопостачання складає в межах 30-50%
4. Техногенні зміни водності Пруту на досліджувальній ділянці не є значними, вони складають близько 2% середньої багаторічної втрати. Більш помітним такий вплив є у меженні періоди, коли частка стічних вод може підвищуватись до 80% витрати річки.
5. Аналіз часових змін водності показує, що протягом останніх 15 років зміни водності річки Прут в районі міста Чернівці демонструє тенденцію до зменшення. Разом з тим, у подальшому зі зростанням інфраструктури міста, збільшенням використання води, рівень змін водності Пруту може дещо підвищуватись(на 1-1.5%).

ЛІТЕРАТУРА

1. Басейнове управління водних ресурсів річок Прут та Сірет (БУВР). 2022. URL: <https://dpbuvr.gov.ua>
2. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. / В.І.Вишневський // Монографія. – К.: Віпол, 2000. – 376 с.
3. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. К.: Ніка Центр, 2003. 324 с.
4. Воропай Л.І. Українські Карпати / Л.І.Воропай, М.О.Куниця, К.: Радянська школа, 1966.-123с.
5. Гуцуляк В.М. Ландшафтна екологія: Геохімічний аспект. Чернівці: Наші книги, 2009. 312 с.
6. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. Збірник. Гол. редактор В.К. Хільчевський. – 2011. Т. 2(23). 234 с
7. Данилишин Б.М. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України / Б.М.Данилишин, С.І.Дорогунцов, В.С.Міщенко, Я.В.Коваль, О.С.Новотворов, М.М.Паламарчук, – Київ, РВПС України. 1999. – 716 с.
8. Державне агенство водних ресурсів України (ДАВУР). 2022. URL: <https://www.davr.gov.ua>
9. Загальна гідрологія. За ред. В. К. Хільчевського і О. Г. Ободовського: Підручник. 2-ге вид., доповнене. — Київ: ВПЦ «Київський університет», 2008. 399 с
10. Кайндль Ф.Р. Історія міста Чернівців від найдавніших часів до сьогодення, присвячена 60 – літньому ювілею правління Його Величності Цісаря Франца Йосипа І, в пам'ять про першу документальну згадку про місто Чернівці 500 років тому / Ф.Р.Кайндль. – Чернівці.: Місто, 2003. – 278 с.
11. Концепція водонадходження міста Чернівці. – видавництво: Правительство Каринтії, Австрія, м. Клагенфурт. – 1998. – 94 с.
12. Колодій В. Гідрогеологія: Підручник. – Львів, 2010. – 368 с

13. Костенюк Л.В. Закономірності руслоформування у річковій системі Верхнього Пруту : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : спец. 11.00.07 «Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія» / Л.В. Костенюк. – Чернівці, 2012. – 20 с.
14. Клименко В. Г. Загальна гідрологія: навчальний посібник для студентів В. Г. Клименко. – Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. – 254 с
15. Кирилюк О.В. Оцінка гідрохімічного статусу вод малих річок басейну верхнього Пруту (на прикладі річок Гуків, Дерелуй та Виженка). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: науковий збірник. 2013. Т. 4(31). С. 62-67.
16. Корчемлюк М.В. Екологічна оцінка якості води верхньої течії Пруту за блоком сольового складу та індексом забрудненості води. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: науковий збірник. 2006. Том 9. С. 142-148.
17. Кукурудза С., Перхач О. Використання та охорона водних ресурсів. Навчальний посібник. – Львів, 2009. – 304 с.
18. Левківський С.С., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г. Загальна гідрологія. – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 264 с.
19. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними критеріями. Затверджено наказом Мінекобезпеки України від 31.01.98 р., № 44. / Автори: Романенко В.Д., Жулинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. К.: Символ-Т, 1998. 48 с.
20. Николаев А.М. Гідролого-геохімічна оцінка стану річок урбанізованої території (на прикладі м.Чернівці): Монографія / А.М.Николаев. – Чернівці: Чернівецький нац.ун-т, 2011, 216с.
21. Николаев А. М. Річкова мережа м. Чернівці / А. М. Николаев, 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.
22. Ободовський О.Г. Руслові процеси: Навчальний посібник. Київ: РВЦ «Київський університет», 1998. 134 с
23. Осадчий В.І. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й.,

- Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. - Київ. «Ніка-центр» 2008. 656 с.
24. Приходько М. М. Екологічні ризики та екологічна безпека басейну верхнього Пруту. Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія. 2014. № 2. С. 143-154. .
25. Природа Чернівецької області. / Під ред.. Геренчука К.І.- Львів: Вища школа., 1978.-160с.
26. План управління вибраного басейну в Україні. Басейн Прута. Проект. Підготовлено УНЕНГО “МАМА-86”. 2015. 84 с.
27. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. К.: Ніка-Центр, 2001. 264 с.
28. Фесюк В. О. Водогосподарський комплекс м. Луцька – модель сучасного користування міст України: Автореф. дис. канд. геогр. наук / В. О. Фесюк. – К., 2001. – 18 с.
29. Фізична географія Української РСР. Маринич А.М., Ланько А.І. Щербань М.І., Шищенко П.Г. – К.:Вища шк., 1982. – 206 с.
30. Хільчевський В. Н. Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти / В. Н. Хільчевський. – К.: Київ. ун-т, 1998. – 319 с.
31. Хільчевський В.К. Хімічний аналіз вод: навчальний посібник / Хільчевський В.К. Київ. Видавничо-поліграфічний центр, Київський університет, 2004. 61с.
32. Цепенда М. В. Деякі методичні підходи до встановлення екологічної напруги в річкових басейнах за допомогою методу водогосподарського балансу (на прикладі гірських і подільських приток Дністра) / М. В. Цепенда // Наук. праці Укр. НДГМІ, 2003. – Вип. 252. – С. 154–159.
33. Ющенко Ю.С. Територіальна структура умов та проявів руслоформування річок / Ющенко Ю.С., Кирилюк А.О., Костенюк Л.В. та ін. // Фізична географія та геоморфологія. – К. : ВГЛ «Обрії», 2012. С. 72– 78.
34. Ющенко Ю. С. Загальна гідрологія : підручник. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2017. 591 с.

35. Ющенко Ю.С., Гончар О.М., Григорійчук В.В. та ін.: Гідроекологічне обґрунтування безпечного та збалансованого розвитку річкових природноантропогенних систем Передкарпаття. Чернівці. 2017. 466 с.
36. Яцик А.В. Водні ресурси України як основа сталого розвитку держави. Вісник Укр. держ. ун-ту водного господарства та природокористування. Ч. 1. Рациональне використання і охорона природних ресурсів. 2002. Вип. 5(18). С. 164-175.