

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут суспільних наук, адміністрування та права

Кафедра екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра на тему:

Водорегулювальна роль лісів у верхів'ї річки Тиси

Виконав: студент групи ЕКз - 61м
спеціальності Е2 Екологія
Василь КОКІШ-МЕЛЬНИК

Керівник: Ігор КУЛЬЧИЦЬКИЙ-ЖИГАЙЛО

Рецензент: Ярослав ГЕНИК

м. Львів – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
 Інститут суспільних наук, адміністрування та права
 Кафедра екології

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
 Спеціальність Е2 Екологія

Завідувач кафедри



ЗАТВЕРДЖУЮ

д.с.-г.н., проф. Копій Л.І.

“14” вересня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
 НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Василю Кокіш-Мельнику

1. Тема роботи «Водорегулювальна роль лісів у верхів'ї річки Тиси»

керівник Кульчицький-Жигайло Ігор Євгенович, к.с.-г.н., доцент,

затвердженої наказом ВНЗ від 15.12.2025 року № С-971

2. Термін подання студентом роботи 10.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Топографічні карти

2. Матеріали гідрометричних постів Гідрометцентру України

3. Лісотаксаційні матеріали

4. Матеріали метеостанції Рахів

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)

Вступ

Розділ 1. Гідрологічна роль лісів на водозборах різної площі (огляд літератури)

Розділ 2. Програма, об'єкт та методика досліджень

Розділ 3. Стокорегулювальний вплив лісів

Розділ 4. Вплив лісу на складові частини водного балансу водозборів


Розділ 5. Моделювання стоку паводкових вод

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема розташування басейнів
2. Характер розташування лісів на водозборах
3. Стокорегульовальна ємність водозборів
4. Моделі зміни впливу лісу на складові водного балансу
5. Моделі гідрографі дощових паводків


7. Дата видачі завдання _____ 14.09.2025 р

Керівник проекту  Кульчицький-Жигайло І.Є.
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	14.09. 2025 – 17.09. 2025	
2	Гідрологічна роль лісів на водозборах різної площі (огляд літератури)	18.09.2025 28.09.2025 -	
3	Програма, об'єкт та методика досліджень	29.09.2025- 15.10. 2025	
4	Стокорегульовальний вплив лісів	16.10. 2025- 30.10.2025	
5	Вплив лісу на складові частини водного балансу водозборів	31.10. 2025 - 15.11.2025	
6	Моделювання стоку паводкових вод	16.11.2025 – 4.12.2025	
7	Висновки	5.12. 2025 – 9.12. 2025	

Студент .
(підпис)

Керівник проекту  Кульчицький-Жигайло І.Є.

АНОТАЦІЯ

Кокіш-Мельник В.М. Водорегулювальна роль лісів у верхів'ї річки Тиси

Дипломна робота магістра зі спеціальності Е2 Екологія – Львів, НЛТУ України. – 2025.

Об'єкт дослідження – гідрологічна роль лісів у басейнах річок Українських Карпат.

Предмет дослідження – водорегулювальна роль лісів у верхів'ї річки Тиси.

Робота викладена на 78 сторінках, у тому числі 73 сторінок основного тексту і додаток на 5 сторінках. Включає вступ, 5 розділів, висновки, список використаної літератури. Таблиць 17, ілюстрацій 22. Список літератури містить 29 найменувань.

Вивчався характер розташування лісів на малих гірських водозборах, стокорегулювальна ємність водозбірних екосистем. Здійснено моделювання гідрографів стоку при випаданні дощів різної величини. Розраховано зміну впливу лісів на складові частини водного балансу при різній лісистості водозбору.

Ключові слова: РІЧКА ТИСА, СТОКОРЕГУЛЮВАЛЬНА ЄМНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОГРАФІВ СТОКУ, ВПЛИВ ЛІСІВ НА ВОДНИЙ БАЛАНС.

ABSTRACT

Kokish-Melnyk V.M. The water-regulating role of forests in the upper reaches of the Tysa River

Master's thesis in the specialty E2 Ecology - Lviv, NLTU of Ukraine. - 2025.

The object of research is the hydrological role of forests in the river basins of the Ukrainian Carpathians.

The subject of research is the water-regulating role of forests in the upper reaches of the Tysa River.

The work is presented on 78 pages, including 73 pages of the main text and an appendix on 5 pages. Includes an introduction, 5 sections, conclusions, a list of used literature. Tables 17, illustrations 22. The list of literature contains 29 names.

The nature of the location of forests in small mountain catchments, the runoff-regulating capacity of catchment ecosystems was studied. Modeling of runoff hydrographs during rainfall of various magnitudes was carried out. The change in the impact of forests on the components of the water balance with different forest cover of the catchment was calculated.

Keywords: TISA RIVER, FLOW REGULATION CAPACITY, MODELING OF FLOW HYDROGRAPHS, INFLUENCE OF FORESTS ON THE WATER BALANCE.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ГІДРОЛОГІЧНА РОЛЬ ЛІСІВ НА ВОДОЗБОРАХ РІЗНОЇ ПЛОЩІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)	9
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1. Програма робіт	20
2.2. Об'єкт дослідження	20
2.2.1 Загальна характеристика	20
2.2.2. Природні умови.....	21
2.3 Методика робіт.....	26
2.3.1 Моделювання гідрографів стоку.....	26
2.3.2 Стокорегулювальний потенціал водозборів	26
2.3.3 Гідрологічна оцінка існуючого характеру розташування лісів на водозборах.....	27
2.3.4 Моделювання впливу лісів на складові водного балансу річкових басейнів	28
РОЗДІЛ 3. СТОКОРЕГУЛЮВАЛЬНИЙ ВПЛИВ ЛІСІВ.....	31
3.1. Гідрологічна оцінка характеру розташування лісів на малих водозборах.....	31
3.2 Стокорегулювальний потенціал водозбірних екосистем	40
РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ ЛІСУ НА СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ ВОДНОГО БАЛАНСУ ВОДОЗБОРІВ	44
РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ СТОКУ ПАВОДКОВИХ ВОД	60
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	70
ДОДАТОК.....	74

ВСТУП

Ліс, який зараз часто є штучним угрупованням, є важливою та незамінною частиною ландшафту. Відновлення лісового покриву багато разів доводило свою гідрологічну ефективність у минулому, оскільки за допомогою правильного складу лісу є можливість суттєво впливати на поверхневий стік опадів і таким чином значно зменшувати або послаблювати хвилю паводку.

Вплив лісу на гідрологічний режим водостоків надзвичайно великий, і тому слід усвідомлювати, що лісовий покрив пропонує величезні переваги. Захисний ефект лісового покриву полягає не лише у захопленні або уповільненні поверхневого стоку, але й у зміцненні ґрунту, що згодом запобігає ерозії.

Оцінка впливу землекористування на процеси стоку має бути невід'ємною частиною комплексного управління водними ресурсами в річкових басейнах. Великі повені можуть виникати через тривалі дощі або зливові опади як у невеликих, так і у великих річкових басейнах. У всіх випадках ліс є найприроднішим засобом утримання води в річковому басейні.

Оцінка впливу лісу на гідрологічний цикл досі є актуальним питанням, яким займаються екологи, гідрологи та лісівники. Різноманітність умов середовища існування та самих лісових насаджень, а також різні методи дослідження призвели до того, що досі немає чіткої відповіді, якою мірою лісове насадження здатне запобігти поверхневому стоку або мінімізувати його.

Питання водогосподарської важливості лісових екосистем поширюються практично по всій Центральній Європі і стають серйозною суспільною проблемою. Це зрозуміло, оскільки ліси суттєво впливають на кругообіг води в природі.

Часті розбіжності поглядів, суперечливі думки та значні відмінності в інтерпретації гіпотез і результатів спостережень мають низку причин. Найпоширенішими причинами є виняткова складність і різноманітність окремих лісових екосистем, методологічна складність гідрологічних експериментів і відносно складне отримання окремих результатів [6].

Конкретний вплив лісових насаджень у певному річковому басейні може бути дуже специфічним, оскільки стік визначається комплексом факторів, декілька з яких можуть діяти в конфлікті та таким чином ускладнювати поведінку всієї системи опадів та стоку.

В Українських Карпатах час від часу формуються висоководні повені, які вчергове привертають увагу науковців та практиків до гідрологічної ролі лісів. Дана дипломна магістерська робота присвячена оцінці водорегулювального впливу гірських лісів у верхів'ї річки Тиса.

РОЗДІЛ 1. ГІДРОЛОГІЧНА РОЛЬ ЛІСІВ НА ВОДОЗБОРАХ РІЗНОЇ ПЛОЩІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Масштаби впливу лісів на гідрологічні процеси, а також наслідки діяльності людини в лісах викликають багато різних питань та суперечок. Дебати з цього питання тривають вже понад 100 років, існують різні теорії про вплив лісів на процеси стоку. Більшість із них зосереджені на впливі лісів на загальний стік, наприклад, [4] У деяких дослідженнях також згадується роль лісів в ерозії, перехопленні, евапотранспірації, інфільтрації, накопиченні снігу та якості води [7].

Одне з перших порівняльних досліджень впливу лісистості водозбору на гідрологічний цикл було проведено у двох невеликих річкових басейнах у Швейцарії у 1900 році [3]. Відтоді було проведено багато досліджень, які можна класифікувати на три основні типи [27]:

- Кореляційні дослідження – засновані на порівнянні стоку між двома річковими басейнами з різною рослинністю та іншими характеристиками. Недоліком цього підходу є те, що не існує повністю ідентичних річкових басейнів, які відрізняються лише рослинністю.
- Дослідження басейнів однієї річки – генерація стоку в басейні річки статистично пов'язана зі станом рослинної поверхні (вирубка лісів, заліснення). У цьому типі досліджень також виникає питання впливу мінливості клімату на кругообіг води в природі.
- Експериментальні дослідження подвійного басейну – гідрологічні умови у спостерігаються у двох подібних водозборах протягом калібрувального періоду, причому один з водозборів зазнає зміни рослинного покриву, а інший залишається незмінним. Порівняння результатів цих двох водозборів до та після зміни рослинності дає можливість виявити вплив мінливості на процеси стоку.

На основі результатів 37 світових експериментів встановлено, що:

- вирубка лісів спричиняє збільшення стоку,
- заліснення, навпаки, зменшує стік,
- реакція водозбору є мінливою та часто непередбачуваною.

Дослідження вирубки лісів показують, що максимальна зміна стоку відбувається вже через кілька років, в середньому через 2-3 роки [7, 28]. Ліси, безсумнівно, роблять великий внесок у водний баланс басейну, адже вони мають більше водоспоживання, ніж інші типи рослинності. Вирубка лісів призводить до збільшення стоку, а заліснення, навпаки, до його зменшення.

На сьогодні існують конфлікти між наукою та громадським сприйняттям земле- та лісокористування, а, отже, впливом лісів на загальний гідрологічний цикл води в природі. Існують дослідження, які наголошують, що ліси, включаючи ґрунт і коріння, діють як «губка», поглинаючи воду під час опадів і вивільняючи її в посушливі періоди. Згідно з цим дослідженням, ліси повинні сприяти покращенню водопостачання, поповнюючи ґрунтові води, підтримуючи базовий стік і пом'якшуючи повені. Інші дослідження стверджують, що ліси діють не як «губка», а радше як «помпа», і що вони не вивільняють воду в посушливі періоди, а поглинають її з ґрунту [5].

Результати досліджень взаємозв'язку між лісами та характером стоку води з річкового басейну, отримані ще на початку 20 століття, підтвердили позитивний вплив лісів на стік води, що проявляється у збалансуванні екстремумів стоку, особливо у зменшенні надзвичайно великих паводкових потоків. Однак відмінності в умовах середовища існування та окремих лісових насаджень, а також різні методи дослідження призвели до розбіжностей у думках щодо деяких результатів лісівничо-гідрологічних досліджень та різних думок щодо впливу лісів на окремі компоненти кругообігу води [1, 16].

Наразі панує думка, що лісове господарство може завдяки цілеспрямованій діяльності, спрямованій на виконання водогосподарських та

водоохоронних функцій лісів, позитивно впливати на процес стоку з лісистого річкового басейну, а також на якість води в струмках та водосховищах. Однак при недотриманні засад природоохоронного лісівництва воно також може спричинити протилежний ефект [18].

Водний баланс та функції лісових екосистем.

Водний баланс у лісовій екосистемі виражає взаємозв'язок між надходженням води (атмосферні опади) та компонентами виведення води з водозбору (евапотранспірація, стік у поверхневі та ґрунтові води). У випадку, якщо атмосферні опади (Z) є єдиним джерелом води для лісового насадження, можна виразити загальне рівняння водного балансу наступним чином [22]:

$$Z = \Delta W + ET + O$$

Отже, у довгостроковій перспективі середня кількість опадів дорівнює евапотранспірації (ET) та стоку води (фільтрації) (O). ΔW – це зміна запасів води в ґрунті та фітомасі .

Ліс утримує, накопичує та повільно віддає великі запаси води. Тому більшість наших струмків та річок мають достатньо води навіть у періоди екстремальної посухи. У разі дуже гарної структури та рясного заростання лісові ґрунти можуть накопичувати до 200 л води на 1 м² на місяць, яка повільно та рівномірно стікає. Таким чином, ліс значно знижує ризик повеней, що особливо важливо в гірських регіонах, таких як Закарпаття [24, 26].

З опадів, що потрапляють під намет лісу, 20% затримується в кронах як так звані втрати на перехоплення, а 2% стікає по стовбурах дерев до поверхні ґрунту. Фізичне випаровування та транспірація трав'янистої рослинності становлять 19%, а поверхневий стік по непорушеному ґрунті становить лише 1%. Кількість води, що транспірується основним наметом, дуже висока.

З точки зору оцінки впливу лісу на *перетворення опадів у поверхневий стік*, ми повинні враховувати два випадки. У першому випадку йдеться про оцінку впливу лісу на загальний вміст води в поверхневих потоках, коли вирішальну роль відіграє розмір загальної евапотранспірації (загального випаровування) лісових екосистем, який, стосовно кількості опадів, вказує на те, скільки води залишає лісову екосистему у вигляді поверхневого або підземного стоку. У другому випадку вплив лісу оцінюється з точки зору його ефективності боротьби з повенями, особливо стосовно формування поверхневого стоку, де вирішальне значення мають оцінка безпосереднього захоплення опадів у кронах лісових насаджень (перехоплення) та стан трав'янистого ярусу та шару перекриваючого гумусу, які відіграють вирішальну роль в інфільтрації падаючих крапель дощу в ґрунтове середовище [8].

Евапотранспірація лісових екосистем включає три важливі компоненти: так зване перехоплююче випаровування (випаровування захопленої опадової води кронами лісових дерев), потім випаровування з ґрунту і, нарешті, транспірація деревами, лісовими чагарниками і травами (виділення води рослинами переважно через продири листя та хвої). Як зазначає [6] у Східній Європі частка евапотранспірації в загальній кількості опадів оцінюється приблизно в 40-70%. З точки зору оцінки впливу лісів на евапотранспірацію та водний баланс у басейні, абсолютні значення не такі важливі, як порівняння потоків евапотранспірації з лісів, луків та сільськогосподарських угідь.

Взаємодія лісового намету (наприклад, чагарникового підліску та травостану) призводить до захоплення певної кількості опадів, які випаровуються та являють собою втратний елемент у рівнянні водного балансу. Цей процес захоплення опадів лісовим наметом називається інтерцепцією. Перехоплення найчастіше виражається як різниця між опадами на вільній поверхні та опадами під наметом лісу. Зазвичай його оцінюють

протягом тривалішого періоду (вегетаційний період, рік), і в цьому випадку ми говоримо про загальне перехоплення [12]

Через різницю в інтенсивності випаровування від перехоплення та інтенсивності транспірації, при моніторингу розвитку водного балансу в системі рослинний покрив – ґрунт необхідно досліджувати не лише кількість води, що споживається на випаровування від перехоплення, але й тривалість цього випаровування та взаємний зв'язок (взаємодію) обох типів випаровування. У природних, а також у лабораторних умовах важко окремо контролювати обидва ці процеси, і експериментально визначені дані зазвичай представляють результуюче (сумарне) значення обох процесів [16, 17].

У балансових оцінках перехоплення не можна нехтувати важливістю стоку дощової води по стовбурах дерев. Величину цього стоку у значній мірі визначає кут прикріплення гілок та характер кори (опосередковано, вид та вік дерева). Значення стоку по стовбурах у бука за вегетаційний період 19,9% від опадів на відкритій місцевості, тоді як для ялини це лише 1,4%. Існують суттєві відмінності у стоці по стовбуру бука у залежності від класу Крафта [13].

Кількість води, що випаровується з лісових насаджень, визначається головним чином складом дерев, віком, структурою та станом насаджень, тобто взаємними зв'язками між лісовим насадженням та навколишнім середовищем.

Крони ялини затримують значно більше опадів, ніж крони бука, що було підтверджено без винятку в усіх експериментах. Решта опадів падає через крони дерев на землю або стікає по стовбурах дерев. Цікаво відзначити, що по одному стовбуру дорослого бука за 50 мм опадів стікає до 1500 літрів води, тоді як у випадку ялин цей показник значно менший (лише від 30 до 50 літрів за ті ж самі опади) [6, 29].

Збільшення поверхневого стоку зазвичай фіксується лише під час весняного сніготанення у чистих букових насадженнях, де шар опалого листя

має меншу водопоглинальну здатність, ніж ялинова підстилка. Окрім того, інтенсивність сніготанення в безлистих букових насадженнях, особливо в сонячну погоду, до 30% вища, ніж у ялинових.

За нормальних умов опадів вода в ґрунті перекачується корінням дерев для забезпечення їхніх фізіологічних процесів (транспірації). Інтенсивність транспірації в листяних насадженнях зазвичай у 2-5 разів вища, ніж у хвойних. Однак, через значно вищі значення біомаси хвої в ялинових насадженнях, відмінності між транспірацією хвойних та листяних лісів зазвичай не відрізняються. Очевидно, що лісові насадження є значними споживачами дощової води. Однак, більше споживання дощової води можна спостерігати в ялинових насадженнях, у порівнянні з буковими [22].

Оскільки ялинові та букові насадження є найважливішими представниками лісових угруповань у верхів'ї Тиси, їх приклад підтвердив відносно високе споживання води лісовими екосистемами. У наших умовах дорослі ялинові насадження споживають від 440 до 620 мм води на рік для своїх фізичних та фізіологічних процесів, дорослі букові насадження — від 350 до 610 мм води на рік. У низовинах і височинах, з опадами від 540 до 750 мм на рік, бук споживає загалом від 400 до 610 мм води (в середньому 500 мм), на більших висотах з опадами понад 1050 мм на рік – лише від 350 до 550 мм (в середньому 460 мм). При порівнянні загального випаровування (або стоку), споживання води завжди було вищим у ялинових лісах для обох типів насаджень [23].

Перехоплення особливо помітне в густих ялинових лісах, де водні запаси в снігу найнижчі. Водна цінність снігу на великих відкритих територіях більша, ніж у густих лісах, але менша, ніж на невеликих галявинах або в розріджених лісах. Під час танення снігу вплив лісу проявляється переважно в затіненні від прямих сонячних променів. Хоча крони дерев випромінюють довгохвильове випромінювання, загалом, чим густіший ліс, тим довше тане сніг у ньому.

Перехоплення снігу з точки зору водного балансу являє собою збіднення вологозабезпечення екосистеми. Перехоплення відіграє значну негативну роль, особливо в ялинових лісах на менших висотах. Навпаки, в положеннях хребтів та навітряних схилів втрати від перехоплення абсолютно незначні, оскільки вони компенсуються так званими «горизонтальними» опадами, які утворюються шляхом захоплення певної кількості води з туману та нижніх шарів хмарності [19].

Тверді опади, що випадають взимку у вигляді снігу, затримуються в кронах дерев у лісових насадженнях практично в такій самій мірі, як і рідкі опади, незважаючи на те, що не тільки фізичні зв'язки між біомасою крони та снігом, але й весь процес перехоплення певною мірою відрізняється. У той час як краплі дощу зв'язуються адгезійними силами на поверхні рослинності лише тимчасово, сніжинки, залежно від температури повітря та швидкості вітру, захоплюються в кроні лише незначною мірою або, навпаки, примерзають до поверхні рослинності та утримуються тривалий час.

Тривалість та інтенсивність танення снігу під наметом лісу залежать від видового складу, повноти та віку насаджень. Частка хвойних порід є визначальною: наприклад, домішка ялини до листяних насаджень зменшує інтенсивність та подовжує танення снігу [20].

Загалом, зазначається, що здатність разового перехоплення коливається від 0,5 мм у трав'янистих та розріджених букових угрупованнях, до 2 мм у хвойних та до 6 мм у хвойних під час снігопаду

Можна стверджувати, що в середньому лише близько 60-70% об'єму стоку стікає з лісів порівняно з нелісистими територіями. Нижні межі об'єму стоку стосуються хвойних лісів, які загалом мають вище значення територіального випаровування, ніж листяні ліси, в середньому на 10%. Через меншу біомасу асиміляційних органів листяні дерева здатні утримувати та відводити менше опадів, ніж хвойні дерева (особливо ялина) протягом міжвегетаційних періодів [17].

Вплив лісозаготівель на збільшення річного стоку в лісових насадженнях також має велике значення. Хоча необхідність розуміння впливу рубок та зміни лісистості на гідрологічні процеси для відносно великих водозборів широко визнана, дослідження такого масштабу обмежені, а опубліковані результати різноманітні та суперечливі. Багато досліджень показали, що гідрологічні реакції на зміну лісового покриву не є значними у великомасштабних басейнах. Наприклад, дослідження, проведене на північному сході Онтарію, Канада [1] виявило обмежену зміну водності водостоків у деяких великих водозборах на зміни лісистості. Не було зафіксовано жодних змін у річних пікових витратах води.

Результати досліджень на 28 басейнах по всій Європі показали, що зміни в лісовому покриві на регіональному рівні, ймовірно, матимуть відносно невеликий вплив на пікові та низькі витрати води. Натомість дослідження у басейні річки Коннет, Австралія, показали, що вирубка лісів на великих водозборах суттєво вплинула на стік річок і призвела до збільшення стоку на 78% [5]. Розчищення земель в Амазонії під пасовища та сільськогосподарські культури призвело до збільшення середньорічного стоку на 24% у післялісовий період. Крім того, були деякі тематичні дослідження, що показують відсутність помітних гідрологічних змін після вирубки лісів [1].

У великих водозборах співіснування різних типів земельних угідь (водно-болотні угіддя, ставки, озера) часто послаблює вплив змін у землекористуванні. Варіації у землекористуванні, просторові і часові коливання кількості опадів є факторами, що перешкоджають послідовним висновкам на основі даних з великих водозборів.

Одночасно метод парних водозборів неможливий для великих водозборів ($>1000 \text{ км}^2$), оскільки стає важко знайти відповідні контрольні елементи, тому необхідно дослідити альтернативні підходи для оцінки впливу змін лісистості на гідрологічні процеси у великомасштабних

водозборах. Як альтернативний підхід може бути використаний аналіз часових рядів як інструмент для аналізу неповторних та послідовно корельованих даних. Він дає змогу оцінити вплив порушення лісів або зміни землекористування на гідрологію у великомасштабних водозборах, його можна застосовувати для одного неповторного водозбору [9].

З методів виявлення змін в екологічних часових рядах застосовують метод крос-кореляції для визначення причинно-наслідкового зв'язку між двома часовими рядами, а також інтервенційний аналіз для оцінки впливу незвичайних подій. У гідрології водозбору зміна землекористування або лісового покриву та клімат взаємодіють між собою, що ускладнює розділення впливу зміни лісового покриву на гідрологію.

Концептуальні або фізичні гідрологічні моделі корисні для вивчення впливу лісозаготівлі на гідрологічні процеси, де основними вхідними змінними є опади, температура та інші кліматичні змінні. Однак вимоги до вхідних даних для детальних характеристик водозбору та гідрологічних параметрів іноді важко виконати при моделюванні великомасштабних водозборів. Навпаки, проста регресійна модель, яка має відносно менше вимог до вхідних даних, може бути корисною альтернативою для опису зв'язків між гідрологією та іншими змінними клімату і землекористування у великих водозборах [1].

Важливим питанням є можливість кількісно визначити вплив рослинності на гідрологічні процеси. Одним із інструментів є моделі опадів та стоку. Вони можуть описувати просторову мінливість антропогенного впливу та зміни просторових параметрів для різних моделей землекористування [13]. Прикладом типового застосування моделей є:

- прогнозування наслідків змін у річковому басейні як результат діяльності людини (зміна землекористування, включаючи урбанізацію, вплив зрошення, розвиток рівня ґрунтових вод, поверхневе та підземне забруднення, вплив зміни клімату тощо);

- визначення стоку з басейну без спостережень та з басейнів з короткими серіями спостережень, прогнози повеней та посух;
- моделювання якості води, деградації та ерозії ґрунту, для якого важливе більш детальне та фізично точніше моделювання потоку води [1]

У просторових моделях опадів та стоку властивості рослинності або земного покриву зазвичай характеризуються параметрами рослинності і надійність результатів моделювання також залежить від того, наскільки точно можна оцінити ці параметри.

Землекористування та співвідношення земель різного типу прямо та опосередковано впливають на гідрологічні процеси. Різні види землекористування мають різні показники евапотранспірації через відмінності в рослинному покриві, індексі листового покриву, глибині кореневої зони та альбедо. Землекористування також впливає на інфільтрацію, оскільки на коефіцієнт насиченої фільтрації головним чином впливають коріння рослин та пори, утворені ґрунтовою фауною [16, 28]. Шорсткість поверхні впливає на швидкість стоку та інтенсивність повеней.

Значний ступінь невизначеності у визначенні цих параметрів виникає головним чином через проблеми, пов'язані з їх прямим вимірюванням, а також через невизначеність, що виникає внаслідок регіоналізації точкових вимірювань параметрів, через природну мінливість характеристик рослинності, пов'язану з кліматичними та ґрунтовими умовами, віком рослинності тощо [12]. Зокрема, глибина кореневої зони вказує на те, наскільки глибоко сягають корені дерев. Це один з найважливіших факторів, що впливає на запаси ґрунтових вод. У гідрологічних моделях цей параметр зазвичай виражається як товщина шару ґрунту ненасиченої зони. О.Чубатий [28] зазначив, що глибокоукорінені дерева мають більшу загальну ємність для зберігання води, ніж насадження з мілководним розташуванням (наприклад, короткі трави).

Коефіцієнт шорсткості поверхні впливає на швидкість поверхневого стоку на схилі та концентрованого стоку у річковій мережі. Він залежить від висоти, густоти, розподілу та типу рослинності. Цей параметр важко виміряти в польових умовах, і часто використовуються лише його емпіричні значення, відомі з літератури, особливо для водостоків та заплав. Шорсткість можна виразити, наприклад, коефіцієнтом шорсткості Маннінга, який визначається окремо для схилів та річкових мереж.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма робіт

Для вивчення водорегулювальної ролі лісів у верхів'ї річки Тиси були заплановані наступні роботи:

1. Вивчення фахової літератури за темою дипломної роботи.
2. Виділення басейну річки Тиса до державного кордону України та окремих річкових субводозборів на ньому.
3. Вивчення характеристик лісових насаджень в межах окремих водозборів.
4. Моделювання гідрографів стоку води дощових паводків, які формуються з водозборів під час дощів різної величини.
5. Визначення для малих водозборів величини їх стокорегулювальної ємності та коефіцієнтів стокорегулювання.
6. Гідрологічна оцінка характеру розташування лісів на водозборах.
7. Розрахунок моделей водного балансу водозборів при їх різній лісистості

2.2. Об'єкт дослідження

2.2.1 Загальна характеристика

Відповідно до затвердженої теми дипломної магістерської роботи об'єктом наших досліджень були річки та їх водозбори у верхів'ї річки Тиси. Ми вивчали гідрологічний режим водостоків та вплив на нього лісів, які розташовані на їх водозборах. Межею вибрано місце, де річка Тиса починає текти по державному кордону України (рис. 2.1).

Річка з назвою Тиса утворюється злиттям двох річок: Чорної Тиси та Білої Тиси.

На даній території віддавна ведуться гідрометричні спостереження на водомірних постах, вона має високу лісистість. Одночасно стік, сформований

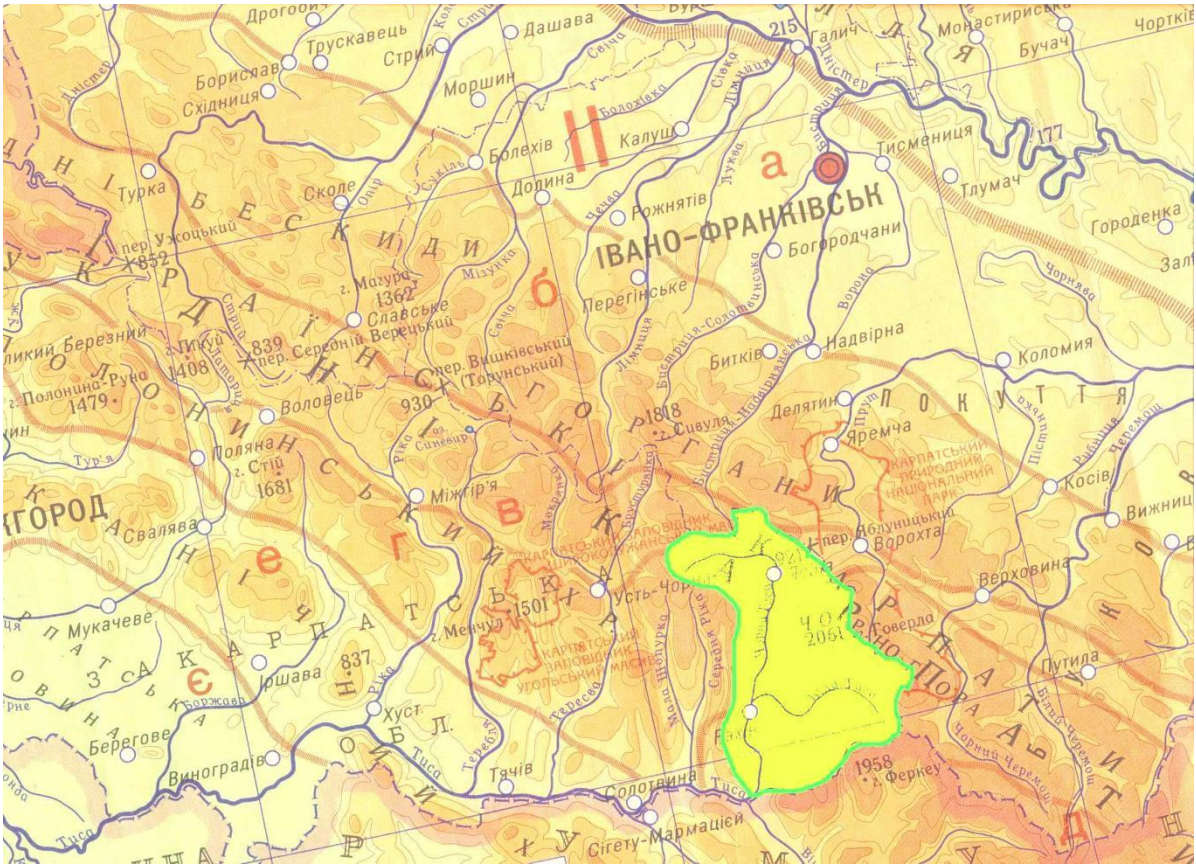


Рис. 2.1. Розташування дослідної території

у верхів'ї Тиси, впливає на показники стоку Тиси нижче за течією, на території Румунії, Угорщини та частково Словаччини.

2.2.2. Природні умови

Клімат. Територія верхньої частини водозбору річки Тиси характеризується неоднорідністю рельєфу, що впливає на розвиток погодних процесів та формування мікроклімату. Карпати мають вплив на атмосферні процеси, передусім на переміщення циклонів. Атмосферні фронти призводять до змін погоди. З висоти 1250-1550 м переважає західний напрямок вітрів, а нижче він відповідає напрямку гірських хребтів [10].

Річні суми радіаційного балансу для масивів Горган, Свидовця та Черногори становлять 1253-1350 МДж/м². Мінімум температур припадає на середину зими – січень, а приурочений до липня.

В горах зима сувора, починається в кінці листопада. Середні температури в січні у горах становлять $-8,6^{\circ}\text{C}$. У липні середні добові температури у межах $13-22^{\circ}\text{C}$, максимальні значення сягають 36°C . У горах температура липня значно нижча (на полонинах лише $6-7^{\circ}\text{C}$).

Середня кількість опадів за рік варіює від 950 до 1450 мм, відчувається вплив орографії. Більше половини опадів випадає теплої пори року, максимум припадає на літо (65- 75%). Це означає важливість оцінки формування саме процесів формування дощового стоку з водозборів [10].

Внутрішньорічне розподілення опадів характерне двома максимумами - у липні і грудні. Взимку величина опадів зменшується. Максимальні опади зафіксовані на вершинах Черногори і Горган. Осінь є найменш зволоженою порою року. Опади впродовж цього періоду найбільші на південно-західних схилах (від 95 до 110 мм), це пов'язано з південними циклонами [12].

Взимку середній максимум за добу опадів становить 10-20 мм, влітку - 30-35 мм. Іноді добові опади можуть перевищувати місячну норму у 1,5 - 2 рази.

У горах найбільші снігозапаси на початок сніготанення коливаються у межах 125-150 см, але іноді на Черногорі та Свидівці висота снігового вкриття перевищує 250 см. Важливими є запаси води у снігу, вони враховується під час прогнозуванні водності весняних водопіль. У середньому запаси води у снігу для басейну Тиси зростають від 35 мм на низинах до 50 мм на висоті 500 м, уже 45-60 мм, і до 100 мм на висоті до 900 м.

Досліджувана територія розташована у передгір'ї та горах. Основною групою хребтів є Полонинські гори, на півдні - Вигорлат-Гутинський хребет, на півночі – Горгани. На південному сході розташовані Гуцульські Альпи.

Карпати є складною гідрогеологічною системою, у якій виділяють Закарпатський і Карпатський басейни підземних вод. Карпатський охоплює гірську частину Карпат, він характерний малою наводненістю через

глинистий склад флішу і інтенсивні денудаційні процеси, при яких зменшується формування зон тріщинуватості, які є місцями накопичення підземних вод. Тому тут нема великих за площею водоносних горизонтів. Підземні води зони вивітрювання прісні безнапірні, а зони тріщинуватості - напірні і часто мінералізовані.

Підземні води Карпатського басейну живляться атмосферними опадами, а їх розвантаження відбувається через гідрографічну мережу. Закарпатського внутрішнього прогину. Основне джерело прісних підземних вод - алювіальний горизонт, який утримує великі запаси вод, його експлуатація забезпечує питною водою населення. Водоносний горизонт є безнапірним. Великі запаси підземних вод містяться у вулканічному комплексі Вигорлат-Гутинського хребта.

Гідрологія. Річки Закарпаття належать до водозбірного басейну річки Тиса. Водозбори її приток (аж до річки Ріка) переважно подовженої форми, вони чітко виражені, а їх вододіли приурочені до гірських хребтів. Висота водозборів у межах 850-1250 м, середні ухили - 250-450‰, ширина річкової долини – 15-20 км (річки Шопурка, Косівська, Теребля) та 25-35 км (ріки Ріка, Тересва).

Водозбори річок, що впадають у Тису нижче за течією від Ріки (Латориця, Боржава), мають грушовидну форму, їх ширина доходить до 40-50 км, а середні висоти водозборів - 350-750 м [28].

Площа водозборів річок становить більше 70 % території Закарпатської області. З неї у середні за водністю роки стікає $7,5 \text{ км}^3$ води, це становить 15 % річкового стоку України. Значні також і модулі стоку. Зокрема, з 1 км^2 за рік стікає $630\,000 \text{ м}^3$ води (в середньому по Україні $83\,000 \text{ м}^3$) [27].

Річка з назвою Тиса починається від злиття Білої Тиси та Чорної Тиси. До Великого Бичкова вона має гірський характер. Далі вниз за течією русло стає звивистим, розгалуженим, з багатьма островами. Стік формується в основному за рахунок великого зволоження від атмосферних опадів. Середнє

багаторічне значення опадів по області досягає 940 мм. Більша частина опадів формує річковий стік, решта – випаровується [25]

Водне живлення річки Тиса відбувається дощовими, талими сніговими і ґрунтовими водами (як, зрештою, всіх карпатських річок). Найбільша частка припадає на дощове живлення (45% річного стоку), снігове живлення становить 25%, а ґрунтове 30 %. Характерним є відсутність тривалого льодоставу. На багатьох річках у звичайні зими льодові явища у 50% випадків відсутні.

У середньому щорічно річки басейну Тиси виносять біля 1,8 млн. тон твердих наносів. Максимальна мутність спостерігається на передгірських ділянках річок.

Гідрологічний режим. Гідрологічний режим річок Української частини басейну Тиси відслідковується на 50 автоматизованих гідрометричних станціях (АІВС «Тиса») (з них 30 є гідрометеорологічними) і 50 водомірних постах. У середньому спостереження тривали більше 50 років

Особливістю розподілу стоку впродовж року є зменшення водності річок взимку зі зростанням висоти над рівнем моря. Велика частина твердих опадів стікає вже у весняний чи літній сезони. Тому в літньо-осінній сезон відбувається зростання стоку. Через те, що на процес стікання талих снігових вод часто накладаються дощі, за весняно-літній сезон стікає біля 69% величини річного стоку, одночасно восени - лише 18%.

У період з березня до серпня спостерігається проходження дощових паводків, а для маловодних років досить високі паводки можуть спостерігатися навіть восени чи взимку. Тому гідрологічне визначення меж між сезонами є умовним, адже паводки впродовж усього року часто ускладнюють процес виділення маловодного меженого періоду.

Формування дощових паводків, помітних на гідрографі, починається при сумі опадів за добу більшій за 25 мм. Після злив величиною понад 100 мм паводки переходять у катастрофічні повені. При цьому рівні води на р.

Тиса зростають на 6-9 м. Відбувається скидання паводкових вод з гір на річкові долини, де спостерігається затоплення заплав смугою до 50 м у гірській зоні, до 400 м у передгірській зоні. Значні ухили зумовлюють швидкоплинні паводки, коли підйом рівнів сягає 2 м за 3 години.

Найвищі підйоми рівнів відбуваються під час осінньо-зимових паводків, частка яких у середньому складає 30% від загальнорічної кількості паводків. Окрім паводків, які відбуваються у холодний період року і мають змішане походження, паводки впродовж теплого періоду відбуваються як результат облогових дощів чи раптових сильних злив.

Меженні періоди можуть спостерігатися як у холодний, так і теплий періоди року. У першому випадку причиною є відсутність стоку води через депонування її на території водозбору у вигляді снігу, а у другому випадку – відсутність дощів і поверхневого стоку.

Ґрунти. Ґрунтоутворюючі породи у верхній частині басейну Тиси мають незначну різноманітність. Їх об'єднують у три групи: елювіально-делювіальні, алювіальні та алювіально-делювіальні відклади. Елювіально-делювіальні залягають у верхів'ї водозборів, найчастіше це пісковики і глинисті сланці. Алювіальні приурочені до незначних ділянок річкових заплав та терас. Алювіально-делювіальні поширені у долинах гірських потоків і річок. Завдяки висотній диференціації рельєфу, літологічній неоднорідності порід, ярусності рослинного вкриття та особливим кліматичним умовам, наявна різноманітність ґрунтового вкриття. На низинних частинах басейнів переважають дерново-підзолисті ґрунти, у горах - бурі гірсько-лісові. Поверхнева водопроникність ґрунтів висока, проте на глибині 30-40 см інфільтрація різко зменшується і формується так званий підповерхневий схиловий стік.

Рослинність. Рослинність, особливо деревна, відіграє велику роль у формуванні стоку з гірських схилів. Середня залісеність Карпат 39%, проте окремі водозбори можуть мати як значно вищу, так і нижчу лісистість.

Більша частка лісів представлена смерековими насадженнями, до 30% лісів займають букові деревостани. Решта порід займають значно меншу площу: ялиця – 4%, дуб – 8%, граб – 5%. На ясен, березу, вільху, клен припадає 7% вкритих лісом площ. На межі з верхньою межею лісу можна зустріти ділянки гірської сосни. У верхів'ї Чорної Тиси на річкових терасах та заплавах поширені лучні асоціації.

У цілому, весь комплекс природних біотичних та абіотичних чинників у даній місцевості та конкретних річкових басейнах визначають умови формування стоку води і водність водостоків у різні періоди.

2.3 Методика робіт

2.3.1 Моделювання гідрографів стоку

Моделювання процесу стоку води одиничного паводку для певного створу на річці полягає у розрахунку витрат через заданий часовий відтинок від початку паводку. Для цього необхідно володіти інформацією про лісотаксаційні характеристики лісонасаджень на водозборі, його морфометричні характеристики, параметри дощів у даній місцевості [18, 20]. Детальніше методика наведена у Додатку.

2.3.2 Стокорегулювальний потенціал водозборів

Використано показники, які були запропоновані професором О. Поляковим [26]:

- 1) стокорегулювальна ємність ділянки (лісового виділу) СС (мм);
- 2) коефіцієнт стокорегулювання цієї ж ділянки КС.

Стокорегулювальна ємність лісової чи не вкритої лісом ділянки включає кількість вологи (мм), яка може бути затримана лісовим наметом, підліском, травостаном, лісовою підстилкою та товщею ґрунту 20 см і, окрім того, бути переведеною у ґрунтовий стік. Для умов Українських Карпат О.Ф. Поляковим розраховані і опубліковані значення СС деревостанів на ділянках різних типів лісу.

Коефіцієнтом стокорегулювання КС називають відношення стокорегулювальної ємності до найбільшого зафіксованого добового дощу у даній місцевості (310 мм для Карпат). Якщо розрахована величина КС є більшою одиниці, то під час паводків і водопіль повені не формуються.

На кафедрі екології розроблена комп'ютерна програма для розрахунку стокорегулювальної ємності лісових виділів і на цій основі інтегральне значення СЄ для усього малого водозбору. Після цього біли розраховані значення КС. Було визначено існуючі значення і їх потенційні величини. Потенційні СЄ та КС можливі при залісненні усієї площі малого водозбору корінними деревостанами високої повноти.

2.3.3 Гідрологічна оцінка існуючого характеру розташування лісів на водозборах

Характер розташування заліснених площ по території річкового басейну має вплив на кількісний прояв гідрологічних можливостей лісів у даних кліматичних та геологічних умовах. Найкраще характер розташування виражати показниками, які можна оцінити кількісно і які відображають гідрологічну суть явища.

Запропоновано показник розвитку лісистості водозбору ε (Pociask-Karteczka, 2003), гідрологічна оцінка величини якого також базується на вищенаведеному підході. Він розраховується за формулою: $\varepsilon = \frac{F_1}{F_2}$, де F_1 – площа під кривою розвитку лісистості; F_2 – площа прямокутника з основою, що дорівнює площі водозбору до створу при 100% лісистості (рис. 2.2).

На рис. 2.2 зображена схема, яка відображає послідовність розрахунку ε при однаковій загальній лісистості двох водозборів, але різному характері розташування лісів на ньому.

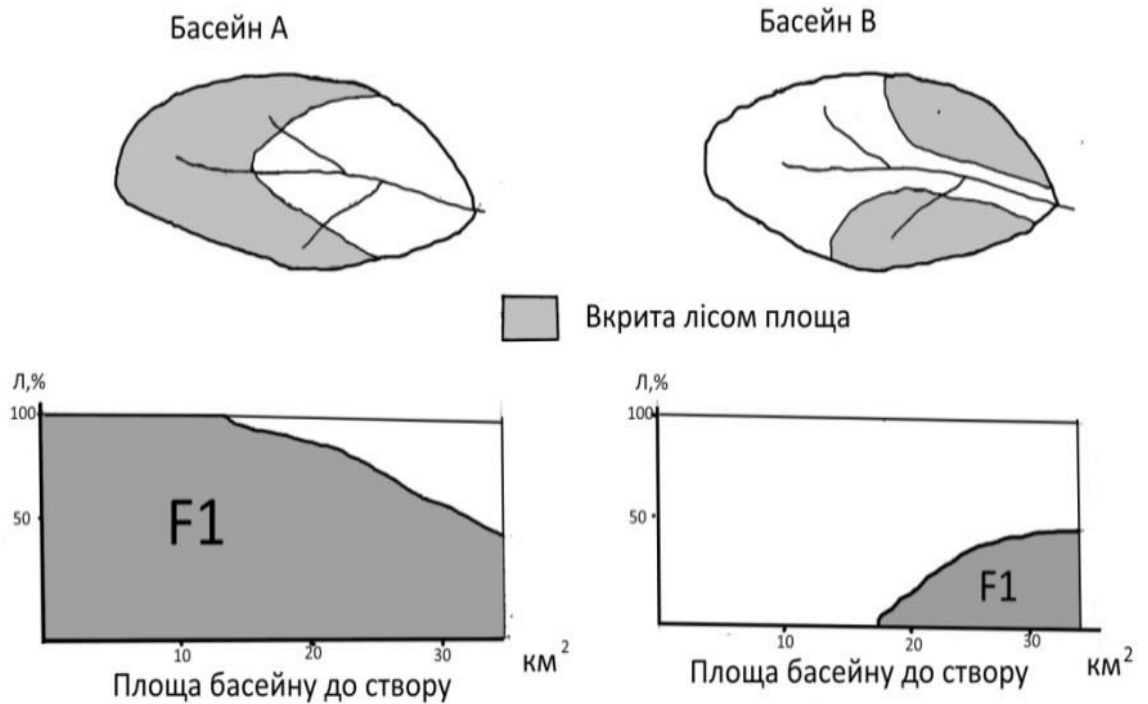


Рис. 2.2. Схема розрахунку показника ϵ

Як видно з рисунку, площа під графіком F_1 є більшою для випадку, коли ліси ростуть у верхів'ї, відповідно більшим є і показник ϵ .

2.3.4 Моделювання впливу лісів на складові водного балансу річкових басейнів

Розрахунок моделей впливу лісів на окремі складові частини водного балансу гірських водозборів здійснено для 6 басейнів річок у верхів'ї річки Тиса. Використана методика професора А. Г. Міховича, модифікована для Українських Карпат і уточнена з урахуванням досліджень останніх років І.Є.Кульчицьким–Жигайло. Ця методика затверджена наказом Мінприроди України і використовується при економічному оцінюванні еколого-соціальних функцій лісових екосистем.

Методика передбачає наявність тривалих спостережень на водомірних постах і розрахованих на цій основі величин складових частин водного балансу за багаторічний період. На досліджуваній території функціонували чи функціонують 6 гідрометричних постів (рис. 2.3.). З цих постів два закриті

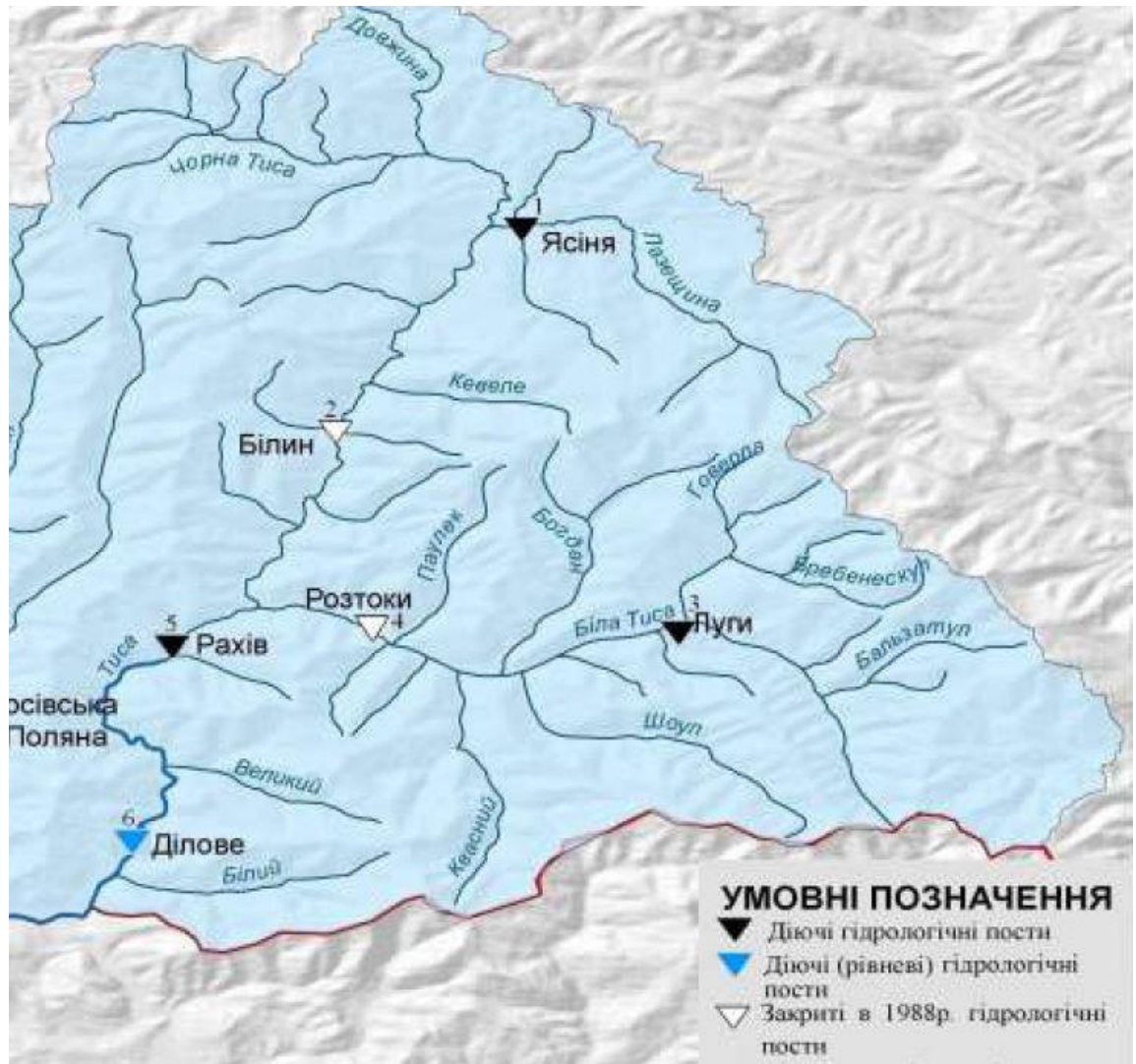


Рис. 2.3. Гідрометричні пости

у 1988 році: на Чорній Тисі біля с. Білин та на Білій Тисі біля с. Розтоки. Проте до моменту закриття ці два пости працювали впродовж 42 років (Чорна Тиса – Білин) та 33 років (Біла Тиса – Розтоки), що дозволяє вважати середньобагаторічні значення стоку на цих постах нормою стоку. Тому для моделювання ми задіяли матеріали усіх шести постів у басейні річки Тиса.

Застосована нами методика дає можливість оцінити вплив лісів при різній лісистості басейну на середню за багато років величину складових частин водного балансу: опади (ΔO , мм), поверхневий стік ($\Delta СП$, мм) загальне випаровування ($\Delta В$, мм). У результаті для різної лісистості цього

басейну можна визначити величину гідрологічного впливу лісів на ґрунтовий стік ($\Delta CГ$, мм), який є показником його водоохоронної функції:

$$\Delta CГ = \Delta O - \Delta CП - \Delta B \text{ [мм]}$$

На основі значень $\Delta CГ$ (мм), знаючи площу водозбору до створу гідрометпоста, є можливість розрахувати величину середньорічного об'єму додатково спричиненого лісом ґрунтового стоку (м^3) і, при потребі, здійснити економічну оцінку водоохоронної ролі лісу на даному басейні.

РОЗДІЛ 3. СТОКОРЕГУЛЮВАЛЬНИЙ ВПЛИВ ЛІСІВ

3.1 Гідрологічна оцінка характеру розташування лісів на малих водозборах

Гідрологічний вплив лісових насаджень на водозборах гірських річок у значній мірі залежить від характеру розташування масивів лісу на водозбірній території.

Наявність потужних деревостанів на висотах, що перевищують 700 метрів над рівнем моря може на 10 – 15% збільшити привхідну частину водного балансу водозбору за рахунок так званих «горизонтальних» опадів, які конденсуються у кронах дерев, причому як у теплу пору року, так і взимку. Ця сконденсована волога надходить до поверхні землі під насадженнями і включається у водний кругообіг.

Якщо ліси розташовані поперек схилу, то поверхневий стік, який утворився на безлісній ділянці, буде проходити через лісовий масив. При цьому, завдяки високій водопоглинальній здатності лісових ґрунтів, значна частина поверхневого стоку буде переведена у підземний, який рухається до русла значно повільніше і не зумовлює різке підняття рівнів та витрат води під час паводків і водопіль. Зворотна ситуація буде при можливості стікання поверхневих вод аж до русла, раптово збільшуючи водність водостоків і спричиняючи повені.

У контексті протиповеневої дії лісів у басейнах гірських річок важливу роль відводять впливу лісонасаджень на швидкість весняного сніготанення і формування гідрографу весняного водопілля. У залежності від породного складу деревостану та його лісотаксаційних характеристик інтенсивність танення снігу під лісовим наметом є значно нижчою, ніж на відкритій для сонячних променів поверхні і снігове вкриття тут повністю сходить на кілька днів пізніше, ніж з непокритої лісом території (конкретні значення даної

різниці визначається величиною снігозапасів на початок весни та дружністю надходження теплих мас повітря, які спричиняють адвективний тип сніготанення).

У цьому контексті оптимальним розташуванням лісів вважається таке, при якому ліси зосередженні у верхів'ї водозбору, біля витоку річки. Тоді снігове вкриття на заліснених ділянках віддаватиме талі води до водостоку пізніше і повільніше, ніж безлісні ділянки у нижній частині басейну. Снігові води з непокритих ділянок встигнуть стекти вниз по руслу річки, а тоді до створу почнуть надходити води з заліснених ділянок. Якщо ж залісненим буде нижня частина водозбору, а верхів'я безлісним, тоді можливо накладання повеневої хвилі, яка через певний час надійшла з віддалених частин водозбору, на талі води з-під лісового намету у нижній частині басейну, при цьому рівні води можуть досягнути небезпечних величин і вода може затопити окремі об'єкти.

Слід однак зазначити, що можливість виникнення вищеописаної ситуації залежить від співвідношення часу добігання вод з верхів'я до розрахункового створу і різниці в часі сходження снігового вкриття на територіях під лісом і без нього.

У межах загальної досліджуваної території ми виділили 7 малих водозборів для гідрологічної оцінки характеру розташування на них лісових насаджень.

На рисунку 3.1 зображено схематичне розташування малих водозборів, більшість з них лежать на водозборі річки Чорна Тиса. Для аналізу вибиралися переважно не суцільно, а частково заліснені водозбори, вони здебільшого розташовані біля населених пунктів у басейні Тиси (рис. 3.2 та 3.3).

Найвище, біля вододільного хребта, розташований водозбір №7 на потоці Медведський, проте він також не є високолісним. Найбільш залісненим є водозбір на потоці Ситний, який впадає у Чорну Тису

північніше с. Білин. Водозбір №2 є єдиним у межах басейну Біла Тиса, а № 1 впадає у головне русло нижче місця злиття Чорної та Білої Тис.

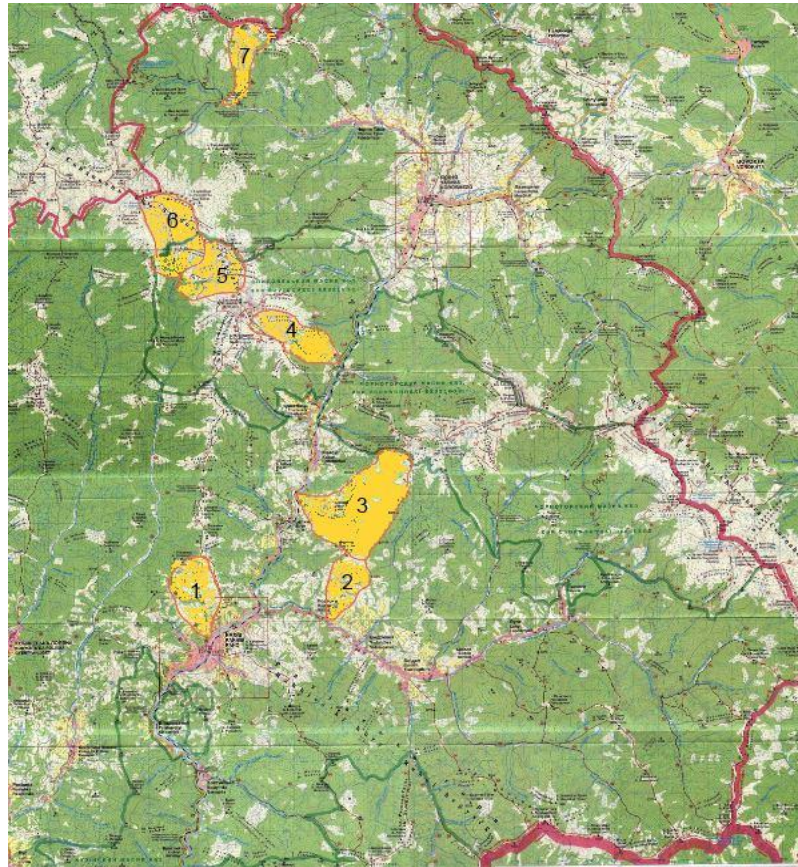


Рис. 3.1 Схема розташування малих водозборів

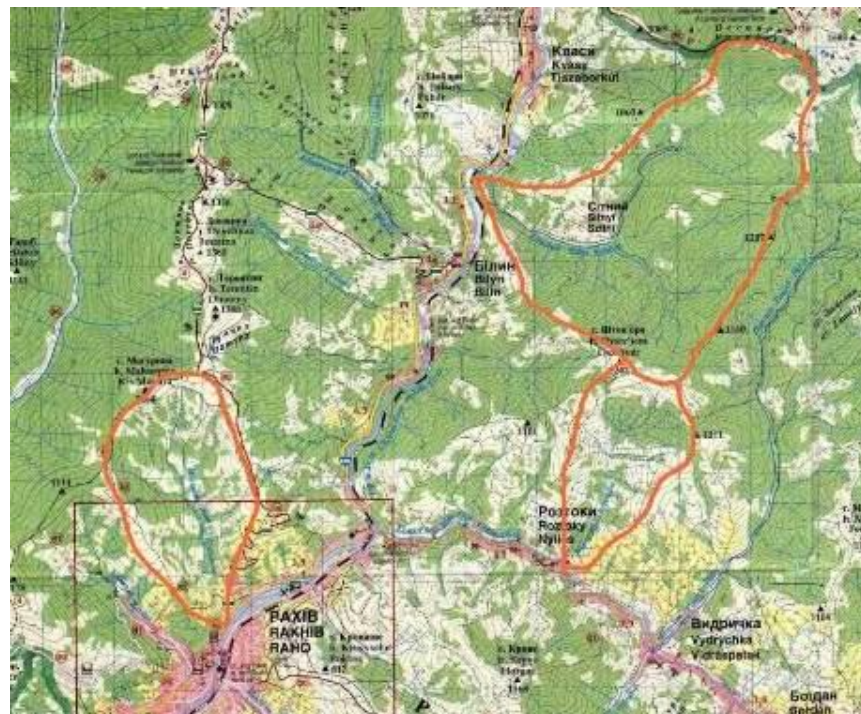


Рис.3.2 Малі водозбори 1 – 3.

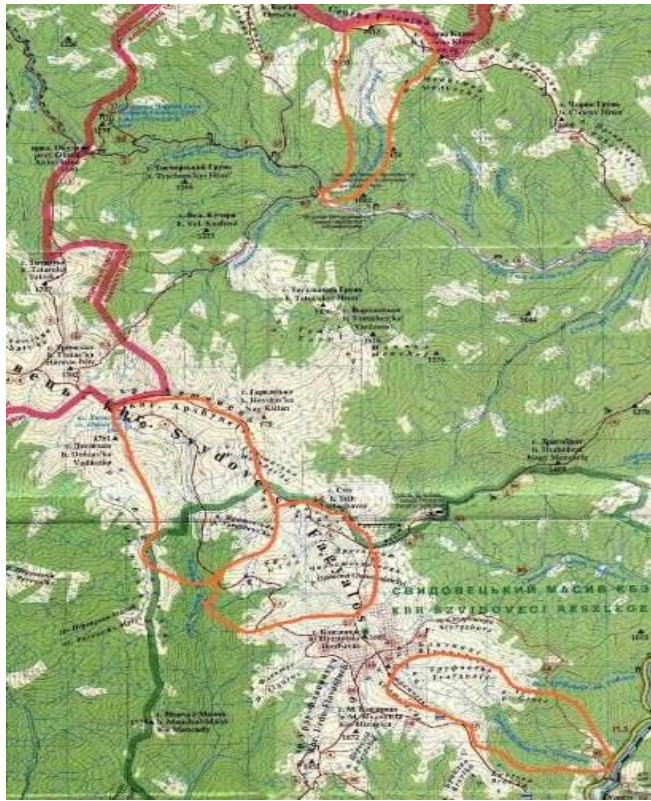


Рис. 3.3 Малі водозбори 4 – 7.

Для кількісної оцінки існуючого характеру розміщення на водозборі заліснених ділянок ми використали показник, названий коефіцієнтом розвитку лісистості річкового басейну (розділ 2.3.3). Для його розрахунку загальну площу досліджуваних малих водозборів розбили на 10 часткових ділянок, площа кожної з яких становила 10% від площі кожного з цих водозборів.

Лісистість окремих ділянок водозбору розраховувалась для площ, частка яких від усієї площі водозбору покроково щоразу зростала на 10% , а у кінці була розрахована лісистість усього водозбору – для 100% його площі.

У таблиці 3.1 . наведені результати розрахунків для усіх 7 малих водозборів.

Найменш лісистим є водозбір №5 – всього 9%, а найбільш залісненим водозбір №3 89%.

Таблиця 3.1

Розвиток лісистості для 7 малих водозборів від витоку до створу,

Частка площі водозбору, %	Лісистість в межах водозборів						
	1	2	3	4	5	6	7
10	30	4	94	0	0	0	6
20	35	51	95	0	0	0	5
30	47	68	96	0	0	0	5
40	49	61	96	0	0	0	4
50	50	55	94	9	0	0	8
60	44	51	93	12	0	0	8
70	40	42	89	19	0	2	12
80	38	44	81	27	6	8	16
90	38	40	87	39	8	8	20
100	37	35	89	48	9	10	23

З метою розрахунку значення ε нами на основі матеріалів таблиці 3.1 для 7 дослідних водозборів побудовано графіки розвитку на них лісистості (рис. 3. 5– 3. 11).



Рис. 3.5 Розвиток залісеності малого водозбору №1

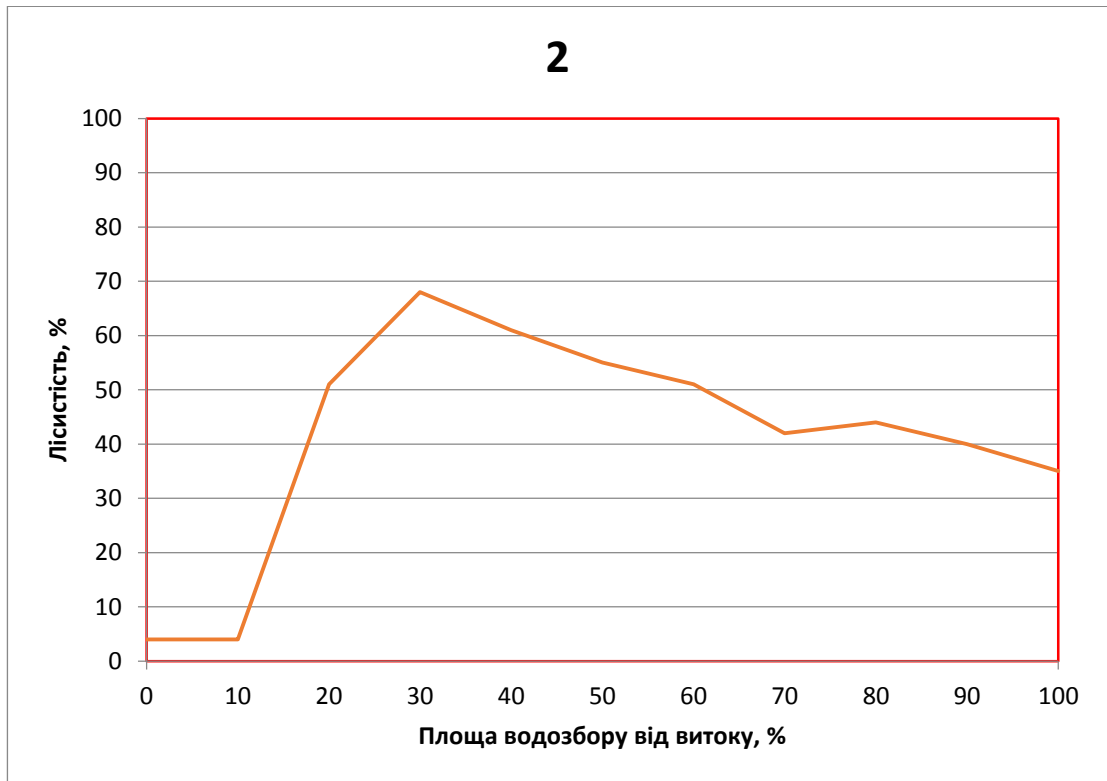


Рис. 3.6 Розвиток залісненості малого водозбору №2

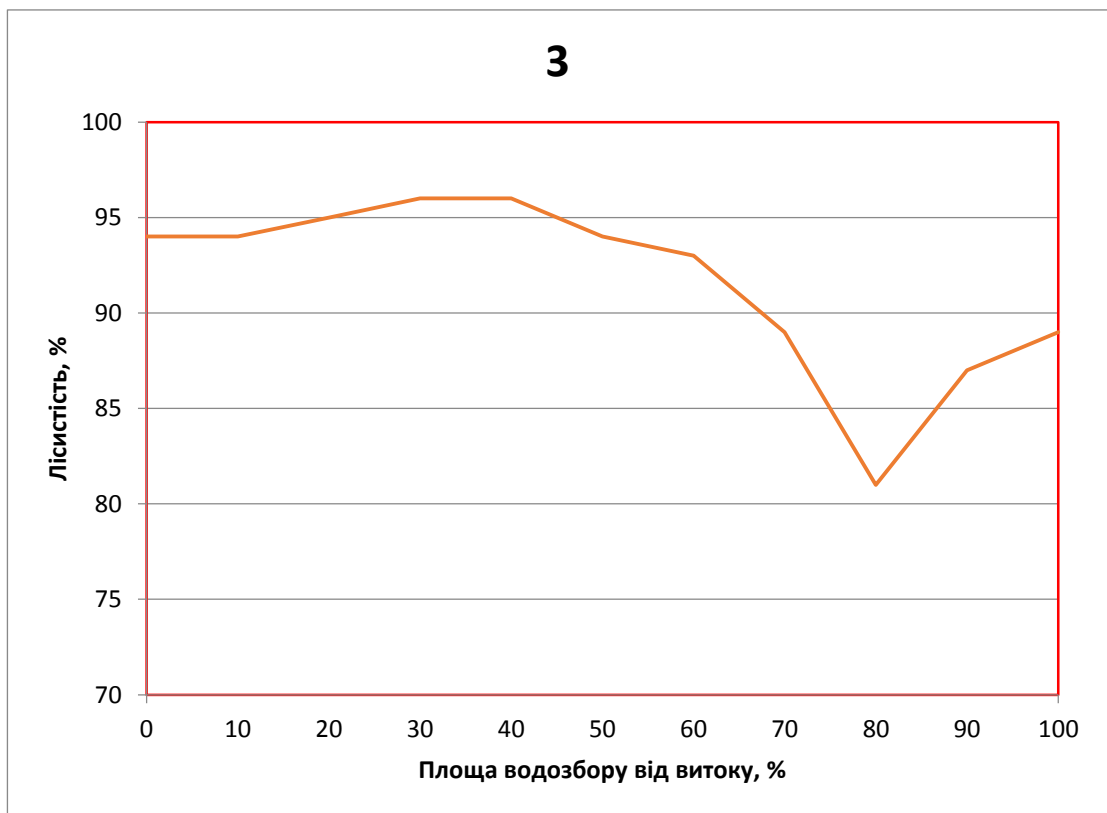


Рис. 3.7 Розвиток залісненості малого водозбору №3

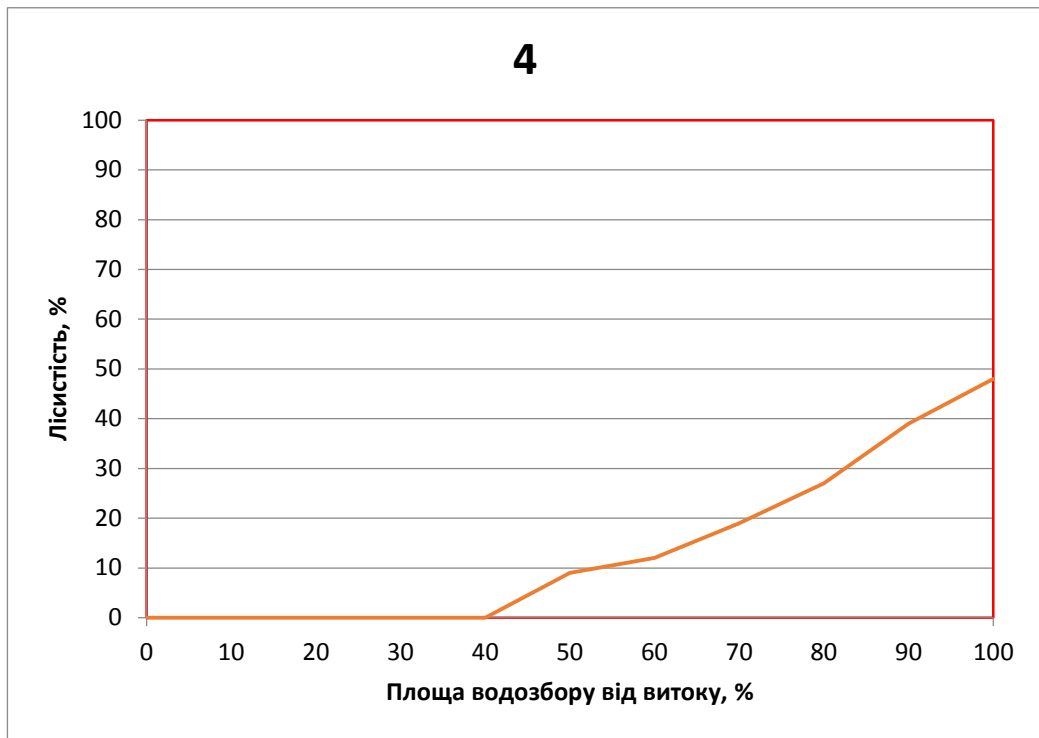


Рис. 3.8 Розвиток залісеності малого водозбору №4

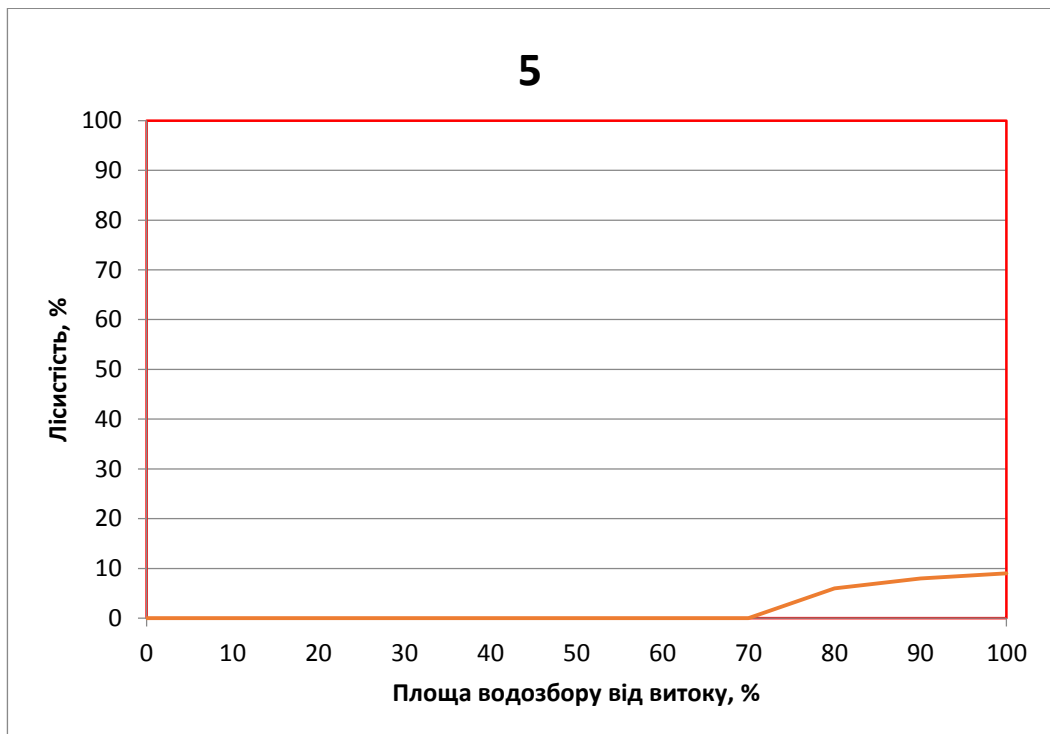


Рис. 3.9 Розвиток залісеності малого водозбору №5

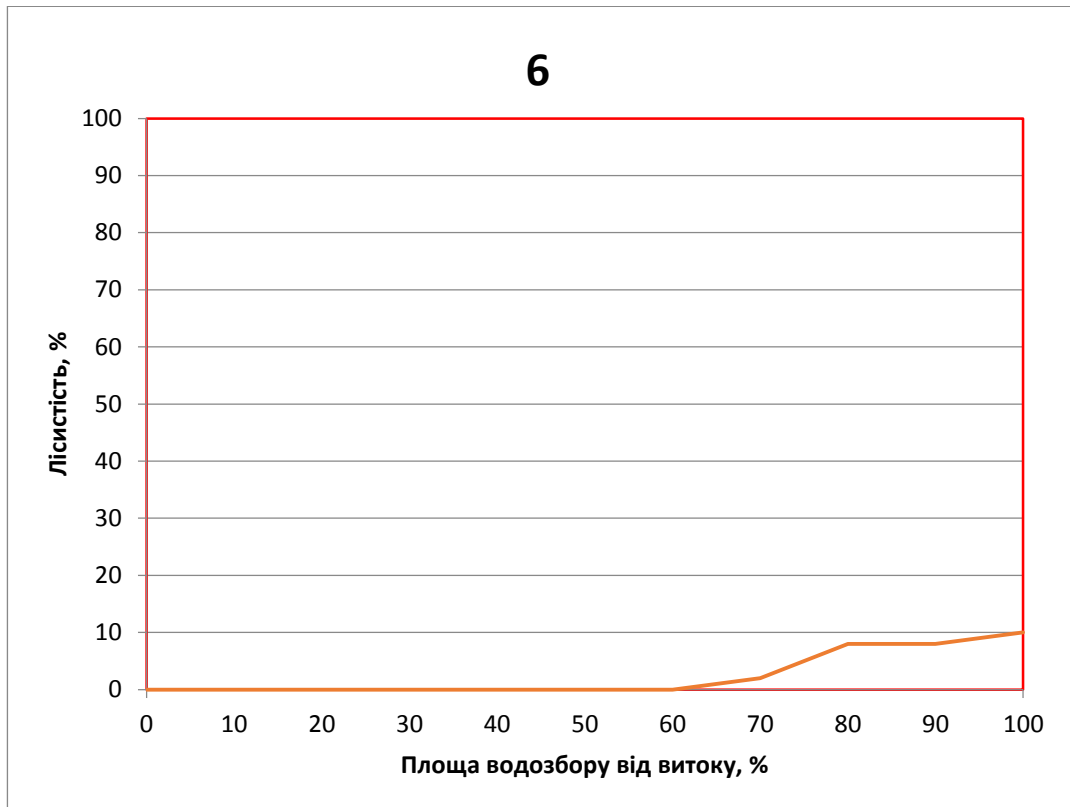


Рис. 3.10 Розвиток залісеності малого водозбору №6

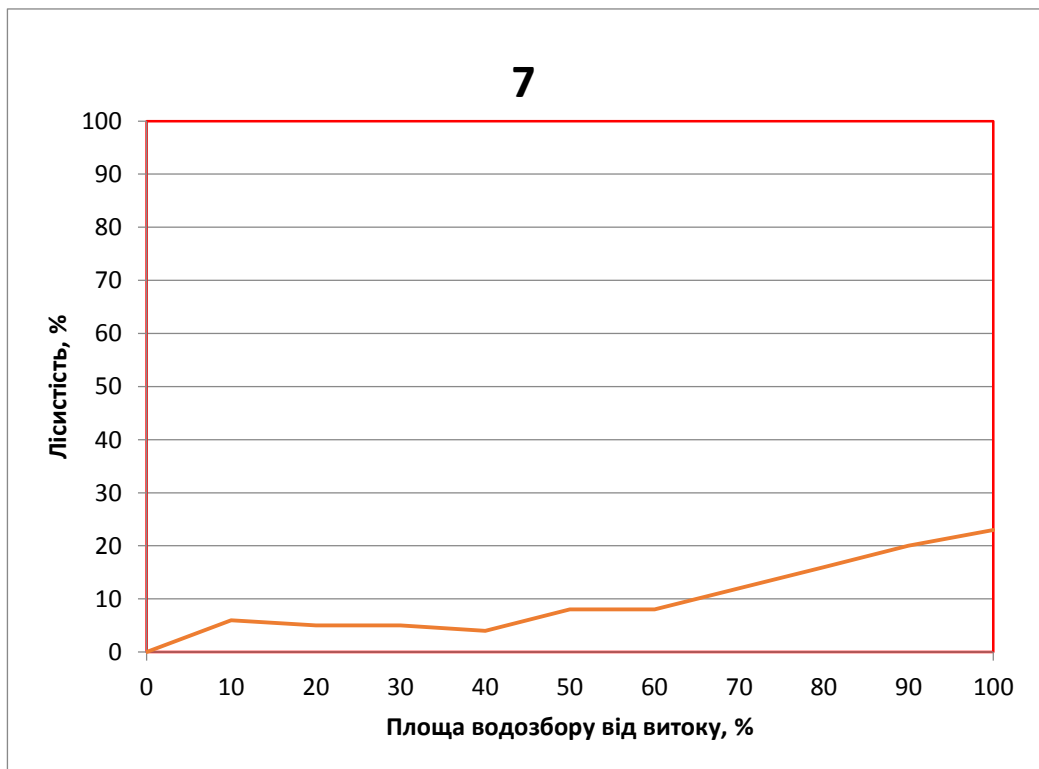


Рис. 3.11 Розвиток залісеності малого водозбору №7

По осі абсцис було відкладено не абсолютну, а відносну площу водозборів у %.

$$\varepsilon = \frac{F_1}{F_2}$$

Площа F_1 під лінією графіка, яка фігурує у формулі, визначалася з використанням програми EXCEL як сума площ трапецій і прямокутників.

У результаті ми отримали такі величини показника ε .

Для водозбору 1: $\varepsilon = 0,408$

Для водозбору 2: $\varepsilon = 0,451$

Для водозбору 3: $\varepsilon = 0,914$

Для водозбору 4: $\varepsilon = 0,154$

Для водозбору 5: $\varepsilon = 0,023$

Для водозбору 6: $\varepsilon = 0,028$

Для водозбору 7: $\varepsilon = 0,107$

Загальна лісистість усіх 7 водозборів варіює в межах 9 – 89 %. Перший та другий водозбори мають майже однакову лісистість (37 та 39%), проте показник ε у них відрізняється на 10% (0,408 та 0,451 відповідно), причому слід констатувати, що ліси на водозборі 2 розташовані з гідрологічної точки зору оптимальніше. Лісистість водозбору 4 удвічі більша, ніж водозбору 7, проте різниця показника ε є меншою через краще розташування лісів на водозборі 7.

Найбільше значення ε на третьому, найбільш лісистому водозборі, що, зрештою, не дивно. Натомість найменші величини ε зафіксовано на найменш заліснених водозборах 5 і 6.

У цілому здійснені нами розрахунки дозволяють зробити висновок, що ліси на 7 дослідних водозборах у сенсі впливу на формування весняних водопіль розташовані по-різному: ε водозбори з великими значеннями ε , а на окремих водозборах ε менше 0,03.

Потрібно однак мати на увазі, що власне лише сам показник ε не є абсолютною ознакою зменшення максимальних витрат водопіль розташованими на водозборі лісами. Слід врахувати при цьому загальну лісистість водозбору, адже коефіцієнт ε може відрізнятися навіть при більш-менш однаковій лісистості. І навпаки, однакове значення ε може спостерігатися на водозборах з різною загальною лісистістю.

3.2 Стокорегулювальний потенціал водозбірних екосистем

Механізм зарегулювання лісом тривалих чи інтенсивних опадів полягає у перехопленні кронами дерев, чагарників, листовою поверхнею травостану, лісовою підстилкою вологи, яка надходить, і, головне, переведення частини поверхневого стоку води у підповерхневий ґрунтовий стік.

Для визначення здатності лісу та водозбірних екосистем зменшувати максимальні рівні та витрати води після випадання великих затяжних чи зливових дощів ми визначили середньозважені значення стокорегулювальної ємності та коефіцієнтів стокорегулювання для ти же 7 малих водозборів у верхів'ї річки Тиса, на яких вивчався характер розташування лісів (рис.3.1).

Розрахунки здійснено за методикою, наведеною у розділі 2. Насамперед визначається приуроченість лісових кварталів і виділів до кожного з дослідних водозборів. Потім для кожного виділу розраховується СЄ і КС. Середньозважені значення цих показників були розраховані загальноприйнятими методами.

З метою оцінки ступеня порушеності стокорегулювального потенціалу водозбірних екосистем і визначення можливості його підвищення, були розраховані потенційний ($КС_{\text{пот}}$) та існуючий ($КС_{\text{існ}}$) коефіцієнти стокорегулювання (табл. 3.2, рис. 3.12).

Таблиця 3.2

Значення існуючих та потенційних КС, інтегрованих для досліджуваних водозборів

Номери водозборів	Лісистість, %	КС _{пот}	КС _{існ}
1	37	1,35	0,51
2	35	1,11	0,67
3	89	1,23	1,04
4	48	1,27	0,72
5	9	1,09	0,22
6	10	1,33	0,13
7	23	1,01	0,56

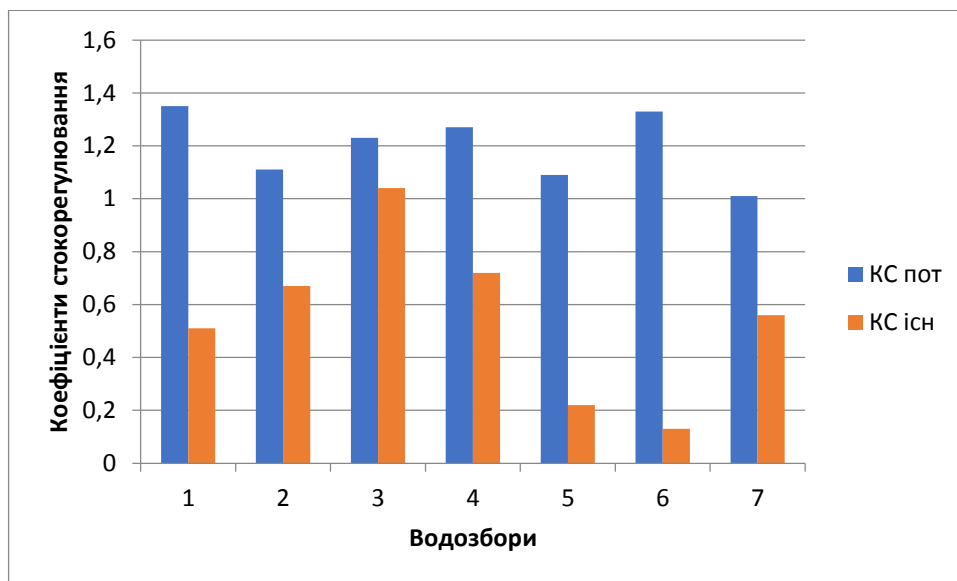


Рис. 3.12 Середньозважені для 7 водозборів коефіцієнти стокорегулювання

Оцінено зв'язок між лісистістю водозборів та величиною їх КС_{існ} (рис. 3.13). Зв'язок є тісний: $R^2 = 0,8753$.

У цілому зі зростанням лісистості водозборів збільшуються їх коефіцієнти стокорегулювання. Однак на цю залежність впливають і інші

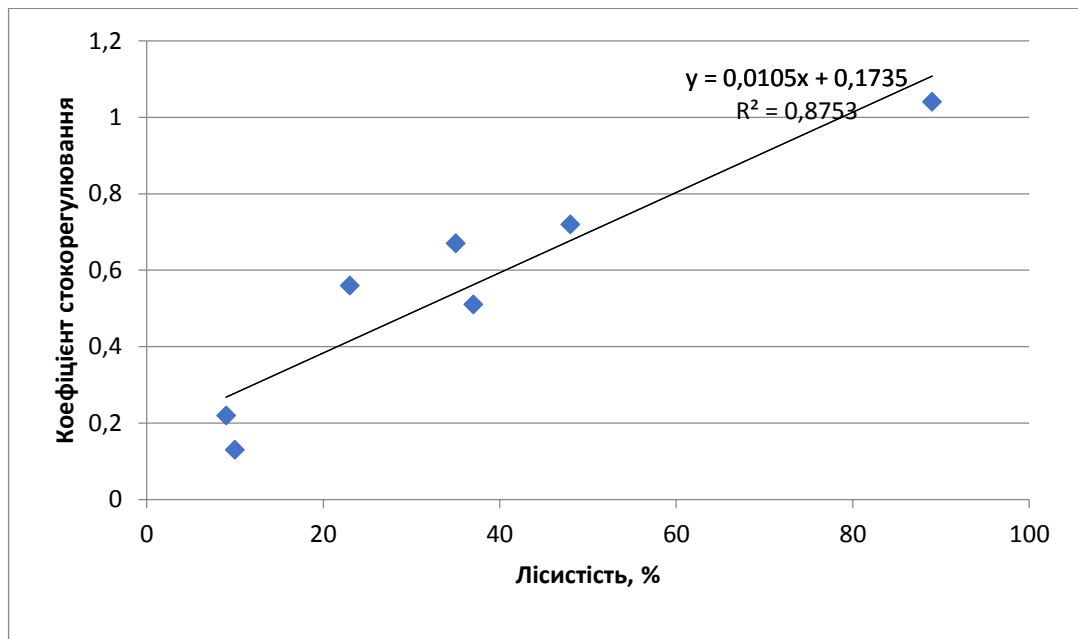


Рис.3.13. Залежність КС водозборів від їх лісистості

чинники: характеристики існуючих лісонасаджень, типи лісу на заліснених ділянках.

Практично усі водозбори потребують здійснення на них заходів для підвищення стокорегулювальної ролі лісів. Першочерговість цих заходів можна визначати, виходячи з комплексу «затрати - ефект»), тобто якщо на певному водозборі досягнути значного збільшення коефіцієнту стокорегулювання можна з меншими затратами, то роботи слід починати саме з нього.

Для визначення таких водозборів нами побудовано графік (рис. 3.14), де по осі абсцис відкладено значення існуючі КС, а по осі ординат – різниця між $КС_{пот}$ та $КС_{існ}$. У цій системі координат відображено розташування кожного водозбору, а різниця $КС_{пот}$ та $КС_{існ}$ вказує на резерв зростання стокорегулювальних можливостей залісненої водозбірної екосистеми.

З рисунка 3.14 видно, що серед 7 дослідних водозборів зустрічаються такі (водозбір 1), на яких, при середніх значеннях $КС_{існ}$ коефіцієнт стокорегулювання можна підвищити навіть на 0,8.

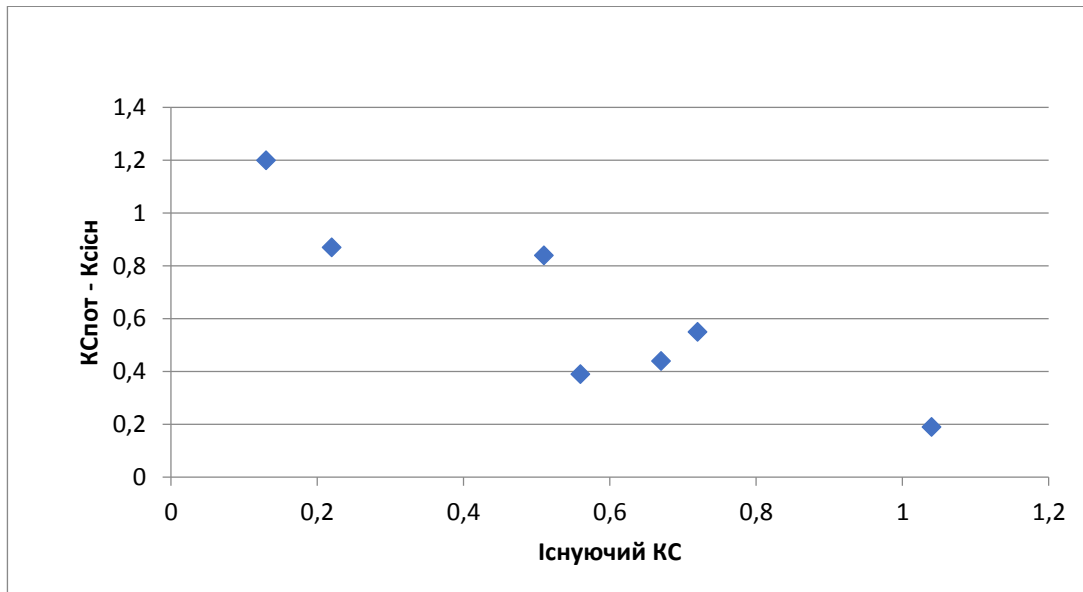


Рис.3.14. Існуючі значення коефіцієнтів стокорегулювання водозборів та резерви їх підвищення

Тут добитися відчутного результату найлегше. Одночасно слід оцінити реальність робіт для підвищення КС водозборів.

$КС_{існ}$ є деколи є значно меншими від потенційних значень. Причина цього – неповна залісненість водозбору, чи також характеристики деревостану, який відрізняється від корінного стиглого високоповнотного насадження. Потенційний коефіцієнт на всіх водозборах є вищим від одиниці. Це свідчить про високі теоретичні можливості водозбірних екосистем зарегулювати поверхневий стік навіть при великих опадах.

РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ ЛІСУ НА СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ ВОДНОГО БАЛАНСУ ВОДОЗБОРІВ

Водоохоронною функцією лісів називають їх вплив на середню за багато років величину ґрунтового стоку. Цей вплив є результатом впливу лісонасаджень на всі складові частини середньобагаторічного водного балансу водозборів: опади O , випаровування V та стік поверхневий $СП$.

У гірських умовах ліси збільшують загальну величину опадів за рахунок так званих «горизонтальних» опадів, які конденсуються у кронах дерев. Це явище проявляється на висотах, більших за 700 метрів НРМ і зростає зі збільшенням висоти водозбору. Випаровування, як витратна частина водного балансу, під впливом лісів збільшується за рахунок інтерцепції та транспірації (розділ 1).

Натомість поверхневий стік зменшується завдяки високій інфільтраційній здатності лісових ґрунтів та переведення частини стоку у глибокий ґрунтовий.

Методика А.Міховича та І.Кульчицького-Жигайла дає змогу розрахувати вплив суто лісів на складові частини водного балансу при різній лісистості водозбору. Такі розрахунки можливі при наявності на річках гідрометричних постів і розрахованих на основі їх спостережень водних балансів водозборів.

Для розрахунків нами використано 6 водозборів: Чорна Тиса – Ясіня, Чорна Тиса – Білин; Тиса – Рахів; Тиса – Ділове; Біла Тиса – Луги; Біла Тиса – Розтоки. Дані водозбори покривають досліджувану територію, а басейн Тиса – Ділове є практично замикаючим для усіх водозборів разом.

На рис. 4.1 виділено усі водозбори і вказано місця розташування водомірних постів.

Морфометричні характеристики досліджуваних нами водозборів подані у таблиці 4.1.

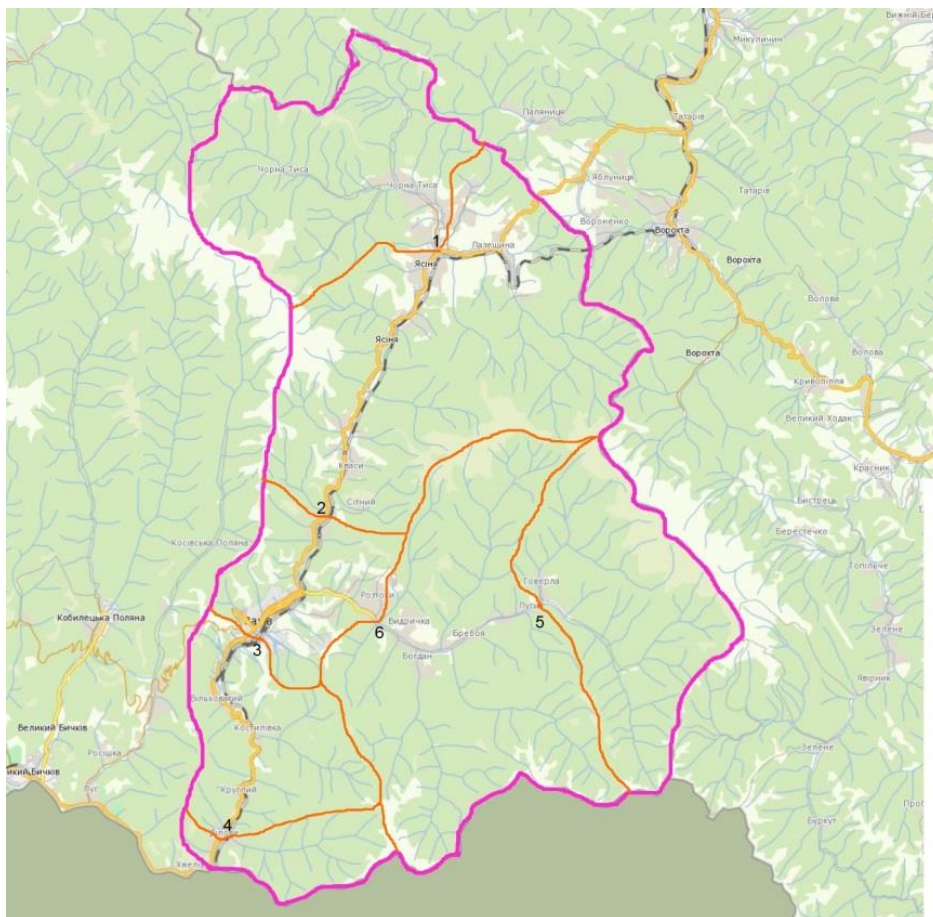


Рис. 4.1. Розташування дослідних водозборів

1 - Чорна Тиса – Ясіня; 2 - Чорна Тиса – Білін; 3 - Тиса – Рахів;
4 - Тиса – Ділове ; 5 - Біла Тиса – Луги; 6 - Біла Тиса – Розтоки.

Таблиця 4.1

Характеристики водозборів

Водо збір (річка – пост)	Площа, км ²	Середня висота, м над НРМ	Середній ухил ‰	Лісистість, %	Середня багаторічна витрата води, м ³ /с	Середній модуль стоку, л/с*км ²	Склад насаджень	
							хвойні	листяні
Тиса - Рахів	1075	1105	214	66	24,2	22,3	0,78	0,22
Тиса – Ділове	1194	997	207	67	32,1	26,7	0,76	0,24
Чорна	193	995	282	77	4,98	23,4	0,80	0,20

Водозбір (річка – пост)	Площа, км ²	Середня висота, м над НРМ	Середній ухил ‰	Лісистість, %	Середня багаторіч на витрата води, м ³ /с	Середній модуль стоку, л/с*км ²	Склад насаджень	
							хвойні	листяні
Тиса - Ясіня								
Чорна Тиса - Білин	542	996	297	67	13,22	22,5	0,89	0,11
Біла Тиса – Луги	188	1215	341	77	4,89	25,1	0,93	0,07
Біла Тиса – Розтоки	475	1125	364	72	15,03	28,7	0,91	0,09

Водозбори розташовані високо в горах – середня висота їх над рівнем моря коливається у межах від 995 (Чорна Тиса) до 1215 м (Біла Тиса - Луги). Лісистість водозборів висока: 66 – 77%. У складі насаджень на більшості річкових басейнів переважають хвойні породи. Середній ухил на всіх водозборах більший за 200 ‰.

Для розрахунку водоохоронної функції лісу у кількісному вираженні слід володіти інформацією про:

- морфометричні характеристики водозбору: висоту над рівнем моря, площу, ухил схилів, водний баланс за багато років (за матеріалами Гідрометцентру і топографічними картами);
- лісистість даного водозбору та породний склад лісів (за матеріалами лісовпорядкування чи з довідкових документів);

Величину збільшення під впливом лісу ґрунтового стоку з водозборів для різних їх лісистостей розраховували у наступному порядку:

1. визначалися так звані базові нормативи лісового впливу на кожен складову частину водного балансу $\Delta O_{\text{баз}}$ (%), $\Delta \text{СП}_{\text{баз}}$ (%), $\Delta V_{\text{баз}}$ (мм) при теоретичній лісистості водозборів 100%;
2. на основі базових нормативів $\Delta O_{\text{баз}}$, $\Delta \text{СП}_{\text{баз}}$, $\Delta V_{\text{баз}}$ здійснювалось коригування нормативів ΔO_{100} (%), $\Delta \text{СП}_{100}$ (%), ΔV_{100} (мм) для рівня лісистості 100%
3. розраховувались величина опадів O_6 , поверхневого стоку СП_6 та випаровування V_6 на абсолютно безлісному водозборі. мм. Складалось рівняння водного балансу при теоретичному «нулю лісистості» водозбору;
4. визначалися нормативи лісового впливу для і-го рівня лісистості басейну - ΔO_i (мм), $\Delta \text{СП}_i$ (мм), ΔV_i (мм) - на основі нормативів впливу на водний баланс ΔO_{100} , $\Delta \text{СП}_{100}$, ΔV_{100} і коефіцієнта R_i , який враховує величину лісистості;
5. приріст ґрунтового стоку $\Delta \text{СГ}_i$ розраховувався для кожного рівня лісистості на основі ΔO_i , $\Delta \text{СП}_i$, ΔV_i ;
6. розраховувався приріст величини ґрунтового стоку (м^3) на основі $\Delta \text{СГ}_i$ для кожного рівня лісистості.

У залежності від висоти водозбору на рівнем моря, крутизни його схилів та співвідношення лісових насаджень різного породного складу та повноти, для кожного водозбору нами розраховані базові нормативи впливу лісів на складові частини водного балансу (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Базові нормативи впливу лісів на складові частини водного балансу

№ з/п	Назва водозбору	$\Delta O_{\text{баз}}$, %	$\Delta \text{СП}_{\text{баз}}$, %	$\Delta V_{\text{баз}}$, мм
1	Тиса - Рахів	11,4	22,8	100,0
2	Тиса – Ділове	10,9	23,1	100,0
3	Чорна Тиса - Ясіня	12,7	18,4	100,0
4	Чорна Тиса - Білин	11,7	21,4	100,0
5	Біла Тиса – Луги	12,4	19,2	100,0
6	Біла Тиса – Розтоки	12,1	18,2	100,0

Нормативи $\Delta O_{\text{баз}}$, $\Delta \text{СП}_{\text{баз}}$, $\Delta V_{\text{баз}}$ підлягають коригуванню з метою врахування специфічних умов кожного водозбору і визначення нормативу для 100%-ої лісистості водозбору. Для гірських умов $\Delta \text{СП}_{100} = \Delta \text{СП}_{\text{баз}}$.

Скориговані значення $\Delta \text{СП}_{100}$, ΔO_{100} , та ΔV_{100} для усіх досліджуваних водозборів наведено у табл. 4.3. Слід зауважити, що внаслідок коригування норматив впливу лісу на складові частини водного балансу дещо змінився (для опадів – на 1-2%, для випаровування – на 5-10 мм).

Таблиця 4.3

Скориговані нормативи впливу лісу на складові частини водного балансу

N з/п	Назва водозбору	$\Delta O_{100},\%$	$\Delta \text{СП}_{100},\%$	$\Delta V_{100},\text{мм}$
1	Тиса - Рахів	10,6	22,8	105
2	Тиса – Ділове	10,4	23,1	102
3	Чорна Тиса - Ясіня	10,9	18,4	108
4	Чорна Тиса - Білин	11,0	21,4	108
5	Біла Тиса – Луги	12,0	19,2	110
6	Біла Тиса – Розтоки	11,5	18,2	110

При існуючій лісистості для кожного водозбору розраховані величини водного балансу (табл. 4.4). Значення кожної складової балансу на конкретному водозборі є специфічним у залежності від співвідношення багатьох чинників та їх синергетичної дії.

Таблиця 4.4

Значення складових водного балансу при існуючій лісистості, мм

N з/п	Назва водозбору	$O_{\text{іл}}$	$\text{СП}_{\text{іл}}$	$V_{\text{іл}}$	$\text{СГ}_{\text{іл}}$
1	Тиса - Рахів	1115,4	798	182,4	135
2	Тиса – Ділове	1109,8	732	179,8	198
3	Чорна Тиса - Ясіня	1281,1	884	231,1	166
4	Чорна Тиса - Білин	1202,0	549,0	487,0	166,0
5	Біла Тиса – Луги	1218,4	738,4	223,7	256,3
6	Біла Тиса – Розтоки	1307,7	727,3	303,2	277,2

Позаяк ΔO_{100} і $\Delta СП_{100}$ вимірюються у відсотках від опадів і поверхневого стоку при нульовій лісистості, слід визначити абсолютне значення складових балансу для даного водозбору у випадку відсутності лісів на ньому. (приведення до нульової лісистості). Результати розрахунків наведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Значення складових водного балансу водозборів при відсутності лісів на них,

мм

N з/п	Назва водозбору	O_6	$СП_6$	$СГ_6$	B_6
1	Тиса - Рахів	974	586	100	288
2	Тиса – Ділове	902	547	124	231
3	Чорна Тиса - Ясіня	1145	605	174	366
4	Чорна Тиса - Білин	1088	619	46	423
5	Біла Тиса – Луги	1089	887	63	139
6	Біла Тиса – Розтоки	1177	857	96	224

Абсолютне значення змін складових частин водного балансу для і-го рівня лісистості (ΔO_i , $\Delta СП_i$, ΔB_i) порівняно з цими ж показниками для безлісного водозбору здійснювалося за формулами:

$$\Delta O_i = O_6 * \Delta O_{100} * R_{oi} * 10^{-2} \text{ (мм)},$$

$$\Delta СП_i = СП_6 * \Delta СП_{100} * R_{спi} * 10^{-2} \text{ (мм)},$$

$$\Delta B_i = \Delta B_{100} * R_{bi} \text{ (мм)},$$

R_{oi} , $R_{спi}$, R_{bi} – коефіцієнти, які враховують зміну лісового впливу на дану складову балансу (поверхневий стік, опади, випаровування) для і-го рівня лісистості. Вони встановлені у частках від величин зміни під впливом лісу водного балансу для суцільно залісненого водозбору (ΔO_{100} , $\Delta СП_{100}$, ΔB_{100}).

Збільшення ґрунтового стоку $\Delta СГ_i$ для і-го рівня лісистості визначається за формулою:

$$\Delta CГ_i = \Delta O_i - \Delta CП_i - \Delta B_i \text{ (мм)}.$$

Розраховані моделі для 6 водозборів наведені у таблицях 4.6 – 4.4.11. Розрахунки показують що на кожному водозборі максимальне значення водоохоронної ролі лісу, яку відображає $\Delta CГ$, проявляється при певній частковій його лісистості, яка називається оптимальна водоохоронна лісистість (ОВЛ). Значення $\Delta CГ$ при ОВЛ у кожній моделі відображено червоним кольором.

Таблиця 4.6

Зміна водного балансу водозбору р. Біла Тиса до с. Розтоки
при різній його лісистості, мм.

Лісистість,%	ΔO	$\Delta CП$	ΔB	$\Delta CГ$
100	135,4	-137,1	110,0	162,5
95	135,4	-137,1	104,5	167,9
90	135,4	-137,1	99,0	173,5
85	135,4	-137,1	93,5	180,0
84	135,4	-136,8	92,4	179,8
83	135,4	-136,6	91,3	180,7
82	135,4	-136,3	90,2	181,5
81	135,4	-136,1	89,1	182,5
80	135,4	-136,0	88,0	183,4
79	135,0	-135,9	86,9	184,0
78	134,6	-135,5	85,8	184,3
77	134,0	-135,0	84,7	184,3
76	133,4	-134,6	83,6	184,4
75	132,7	-134,1	82,5	184,3
74	132,0	-133,0	81,4	183,6
73	131,3	-131,6	80,3	182,6
72	130,7	-129,7	79,2	181,2
71	130,0	-127,0	78,1	178,9
70	128,6	-123,4	77,0	175,0
69	127,3	-117,9	75,9	169,3
68	125,9	-112,4	74,8	163,5
67	124,6	-106,9	73,7	157,8

Лісистість,%	ΔO	$\Delta СП$	ΔB	$\Delta CГ$
66	123,2	-101,4	72,6	152,0
65	121,2	-96,0	71,5	145,7
64	118,5	-89,7	70,4	137,8
63	115,1	-85,0	69,3	130,8
62	111,7	-80,3	68,2	123,8
61	107,6	-76,2	67,1	116,7
60	102,2	-72,7	66,0	108,9
55	79,2	-54,8	60,5	73,5
50	67,7	-41,1	55,0	53,8
45	60,9	-31,8	49,5	43,2
40	54,2	-24,4	44,0	34,6
35	47,4	-18,4	38,5	27,3
30	40,6	-13,7	33,0	21,3
25	33,8	-10,0	27,5	16,3
20	27,1	-7,3	22,0	12,4
15	20,3	-5,3	16,5	9,1
10	13,5	-3,3	11,0	5,8

Таблиця 4.7

Зміна водного балансу водозбору р. Біла Тиса до с. Луги
при різній його лісистості, мм.

Лісистість,%	ΔO	$\Delta СП$	ΔB	$\Delta CГ$
100	130,7	-150,8	110,0	171,5
95	130,7	-150,8	104,5	177,0
90	130,7	-150,8	99,0	182,5
85	130,7	-150,8	93,5	188,0
84	130,7	-150,5	92,4	188,8
83	130,7	-150,2	91,3	189,6
82	130,7	-149,9	90,2	190,4
81	130,7	-149,7	89,1	191,3
80	130,7	-149,6	88,0	192,3
79	130,3	-149,4	86,9	192,8
78	129,9	-149,0	85,8	192,1

Лісистість,%	ΔО	ΔСП	ΔВ	ΔСГ
77	129,4	-148,6	84,7	193,3
76	128,7	-148,1	83,6	193,2
75	128,1	-147,5	82,5	193,1
74	127,4	-146,3	81,4	192,3
73	126,8	-144,8	80,3	191,3
72	126,1	-142,7	79,2	189,6
71	125,5	-139,6	78,1	187,0
70	124,2	-135,7	77,0	182,9
69	122,9	-129,7	75,9	176,7
68	121,6	-123,7	74,8	170,5
67	120,2	-117,6	73,7	164,1
66	118,9	-111,6	72,6	157,9
65	117,0	-105,6	71,5	151,1
64	114,4	-98,6	70,4	142,6
63	111,1	-93,5	69,3	135,3
62	107,8	-88,4	68,2	128,0
61	103,9	-83,8	67,1	120,6
60	98,7	-79,9	66,0	112,6
55	76,5	-60,3	60,5	76,3
50	65,4	-45,2	55,0	55,6
45	58,8	-35,0	49,5	44,3
40	52,3	-26,8	44,0	35,1
35	45,7	-20,2	38,5	27,4
30	39,2	-15,1	33,0	21,3
25	32,7	-11,0	27,5	16,2
20	26,1	-8,0	22,0	12,1
15	19,6	-5,9	16,5	9,0
10	13,1	-3,6	11,0	5,7

Таблиця 4.8

Зміна водного балансу водозбору р Чорна Тиса до с. Білин
при різній його лісистості, мм.

Лісистість,%	ΔО	ΔСП	ΔВ	ΔГ
100	123,4	-90,1	93,9	119,6
95	123,4	-90,1	89,6	123,9
90	123,4	-90,1	84,9	128,6
85	123,4	-90,1	80,0	133,5
84	123,4	-90,3	79,4	134,3
83	123,4	-90,2	79,1	134,5
82	123,4	-90,0	77,8	135,6
81	123,4	-90,0	77,0	136,4
80	123,4	-89,6	76,0	137,0
79	123,3	-89,5	75,4	137,4
78	123,1	-89,3	74,4	138,0
77	122,2	-89,0	73,1	138,1
76	122,1	-89,0	73,1	138,0
75	121,4	-88,5	71,9	138,0
74	120,3	-87,6	69,9	138,0
73	120,0	-87,3	69,4	137,9
72	119,5	-85,3	68,2	136,6
71	118,1	-84,8	67,6	135,3
70	117,3	-81,9	66,7	132,5
69	116,4	-78,6	66,6	128,4
68	115,3	-74,5	65,0	124,8
67	114,0	-70,2	64,2	120,0
66	112,5	-67,6	63,5	116,6
65	110,6	-63,1	61,3	112,4
64	108,8	-59,4	61,3	106,9
63	105,4	-56,3	60,7	101,0
62	102,1	-53,2	58,6	96,7
61	98,3	-50,8	58,6	90,5
60	93,1	-48,4	57,0	84,5
55	72,6	-36,6	52,8	56,4

Лісистість,%	ΔO	$\Delta C\Pi$	ΔB	$\Delta C\Gamma$
50	62,8	-27,1	48,7	41,2
45	56,1	-21,3	43,3	34,1
40	49,3	-16,8	38,3	27,8
35	43,0	-12,4	33,3	22,1
30	37,5	-9,0	28,0	18,5
25	31,7	-7,2	24,8	14,1
20	25,3	-5,3	20,6	10,0
15	19,2	-3,5	14,4	8,3
10	12,0	-2,6	8,8	5,8

Таблиця 4.9

Зміна водного балансу водозбору р. Тиса до м. Рахів
при різній його лісистості, мм.

Лісистість,%	ΔO	$\Delta C\Pi$	ΔB	$\Delta C\Gamma$
100	117,2	-85,6	89,2	113,6
95	117,2	-85,6	85,1	117,7
90	117,2	-85,6	80,7	122,2
85	117,2	-85,6	76,0	126,8
84	117,2	-85,8	75,4	127,6
83	117,2	-85,7	75,1	127,8
82	117,2	-85,5	73,9	128,8
81	117,2	-85,5	73,2	129,6
80	117,2	-85,1	72,2	130,2
79	117,1	-85,0	71,6	130,5
78	116,9	-84,8	70,7	131,1
77	116,1	-84,6	69,4	131,2
76	116,0	-84,6	69,4	131,1
75	115,3	-84,1	68,3	131,1
74	114,3	-83,2	66,4	131,1
73	114,0	-82,9	65,9	131,0
72	113,5	-81,0	64,8	129,8
71	112,2	-80,6	64,2	128,5

Лісистість,%	ΔО	ΔСП	ΔВ	ΔСГ
70	111,4	-77,8	63,4	125,9
69	110,6	-74,7	63,3	122,0
68	109,5	-70,8	61,8	118,6
67	108,3	-66,7	61,0	114,0
66	106,9	-64,2	60,3	110,8
65	105,1	-59,9	58,2	106,8
64	103,4	-56,4	58,2	101,6
63	100,1	-53,5	57,7	96,0
62	97,0	-50,5	55,7	91,9
61	93,4	-48,3	55,7	86,0
60	88,4	-46,0	54,2	80,3
55	69,0	-34,8	50,2	53,6
50	59,7	-25,7	46,3	39,1
45	53,3	-20,2	41,1	32,4
40	46,8	-16,0	36,4	26,4
35	40,9	-11,8	31,6	21,0
30	35,6	-8,6	26,6	17,6
25	30,1	-6,8	23,6	13,4
20	24,0	-5,0	19,6	9,5
15	18,2	-3,3	13,7	7,9
10	11,4	-2,5	8,4	5,5

Таблиця 4.10

Зміна водного балансу водозбору р. Тиса до с. Ділове
при різній його лісистості, мм.

Лісистість,%	ΔО	ΔСП	ΔВ	ΔСГ
100	104,9	-76,6	79,8	101,7
95	104,9	-76,6	76,2	105,3
90	104,9	-76,6	72,2	109,3
85	104,9	-76,6	68,0	113,5
84	104,9	-76,8	67,5	114,2

83	104,9	-76,7	67,2	114,3
82	104,9	-76,5	66,1	115,3
81	104,9	-76,5	65,5	115,9
80	104,9	-76,2	64,6	116,5
79	104,8	-76,1	64,1	116,8
78	104,6	-75,9	63,2	117,3
77	103,9	-75,7	62,1	117,4
76	103,8	-75,7	62,1	117,3
75	103,2	-75,2	61,1	117,3
74	102,3	-74,5	59,4	117,3
73	102,0	-74,2	59,0	117,2
72	101,6	-72,5	58,0	116,1
71	100,4	-72,1	57,5	115,0
70	99,7	-69,6	56,7	112,6
69	98,9	-66,8	56,6	109,1
68	98,0	-63,3	55,3	106,1
67	96,9	-59,7	54,6	102,0
66	95,6	-57,5	54,0	99,1
65	94,0	-53,6	52,1	95,5
64	92,5	-50,5	52,1	90,9
63	89,6	-47,9	51,6	85,9
62	86,8	-45,2	49,8	82,2
61	83,6	-43,2	49,8	76,9
60	79,1	-41,1	48,5	71,8
55	61,7	-31,1	44,9	47,9
50	53,4	-23,0	41,4	35,0
45	47,7	-18,1	36,8	29,0
40	41,9	-14,3	32,6	23,6
35	36,6	-10,5	28,3	18,8
30	31,9	-7,7	23,8	15,7
25	26,9	-6,1	21,1	12,0
20	21,5	-4,5	17,5	8,5
15	16,3	-3,0	12,2	7,1
10	10,2	-2,2	7,5	4,9

Таблиця 4.11

Зміна водного балансу водозбору р. Чорна Тиса до с. Ясіня при різній
його лісистості, мм.

Лісистість,%	ΔО	ΔСП	ΔВ	ΔСГ
100	133,3	-97,3	101,4	129,2
95	133,3	-97,3	96,8	133,8
90	133,3	-97,3	91,7	138,9
85	133,3	-97,3	86,4	144,2
84	133,3	-97,5	85,8	145,0
83	133,3	-97,4	85,4	145,3
82	133,3	-97,2	84,0	146,4
81	133,3	-97,2	83,2	147,3
80	133,3	-96,8	82,1	148,0
79	133,2	-96,7	81,4	148,4
78	132,9	-96,4	80,4	149,0
77	132,0	-96,1	78,9	149,1
76	131,9	-96,1	78,9	149,0
75	131,1	-95,6	77,7	149,0
74	129,9	-94,6	75,5	149,0
73	129,6	-94,3	75,0	148,9
72	129,1	-92,1	73,7	147,5
71	127,5	-91,6	73,0	146,1
70	126,7	-88,5	72,0	143,1
69	125,7	-84,9	71,9	138,7
68	124,5	-80,5	70,2	134,8
67	123,1	-75,8	69,3	129,6
66	121,5	-73,0	68,6	125,9
65	119,4	-68,1	66,2	121,4
64	117,5	-64,2	66,2	115,5
63	113,8	-60,8	65,6	109,1
62	110,3	-57,5	63,3	104,4
61	106,2	-54,9	63,3	97,7
60	100,5	-52,3	61,6	91,3

Лісистість,%	ΔO	$\Delta СП$	$\Delta В$	$\Delta СГ$
55	78,4	-39,5	57,0	60,9
50	67,8	-29,3	52,6	44,5
45	60,6	-23,0	46,8	36,8
40	53,2	-18,1	41,4	30,0
35	46,4	-13,4	36,0	23,9
30	40,5	-9,7	30,2	20,0
25	34,2	-7,8	26,8	15,2
20	27,3	-5,7	22,2	10,8
15	20,7	-3,8	15,6	9,0
10	13,0	-2,8	9,5	6,3

Наглядно зміна величини $\Delta СГ$ при різній лісистості водозборів зображена на рис. 4.2.

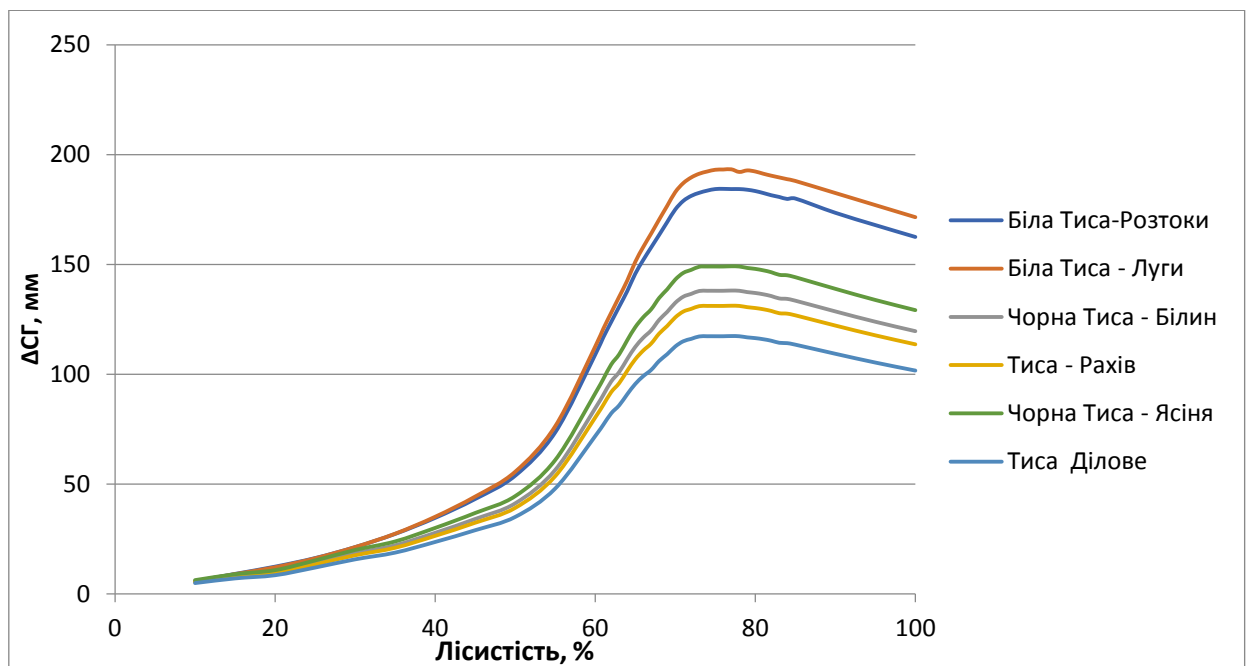


Рис. 4.2. Зміна величини $\Delta СГ$ при різній лісистості водозборів

Характер зміни показника $\Delta СГ$ у цілому однаковий для усіх водозборів. Під впливом лісу величина грунтового стоку з водозбору зростає, отже в маловодні періоди річки будуть повноводнішими. Значення ОВЛ для

5 з досліджуваних водозборів становить 77% і лише на водозборі Біла Тиса – Розтоки дорівнює 76%. Близькі значення ОВЛ є передбачуваним результатом, адже водозбори розташовані в однакових геоморфологічних та лісотипологічних умовах. Проте значення у міліметрах специфічне для кожного водозбору (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Збільшення під впливом лісу величини ґрунтового стоку при існуючій та оптимальній водоохоронній лісистості

№ з/п	Назва водозбору	Існуюча ліс-ть, %	ΔСГ при існуючій ліс-ті, мм	ОВЛ, %	ΔСГ при ОВЛ, мм
1	Тиса - Рахів	66	110,5	77	131,2
2	Тиса – Ділове	67	102,0	77	117,4
3	Чорна Тиса - Ясіня	77	149,1	77	149,1
4	Чорна Тиса - Білин	67	120,0	77	138,1
5	Біла Тиса – Луги	77	193,3	77	193,3
6	Біла Тиса – Розтоки	72	181,2	76	184,4

Різниця між величиною додаткового об'єму стоку при оптимальній і існуючій лісистості водозборів відображає резерв підвищення за рахунок впливу лісу ґрунтового стоку при умові досягнення ОВЛ.

На двох водозборах (Чорна Тиса – Ясіня та Біла Тиса Луги) відзначимо дуже рідкісний випадок, коли існуюча та оптимальна водоохоронна лісистості співпадають і дорівнюють 77%. На інших водозборах різниця між цими показниками також невелика.

Величина додатково утвореного під впливом лісу ґрунтового стоку, вираженого в кубічних метрах, залежить від значення ΔСГ та площі водозбору. Найбільшою для конкретного водозбору вона, зрозуміло, буде при ОВЛ.

РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ СТОКУ ПАВОДКОВИХ ВОД

Використовуючи опрацьовану на кафедрі екології методику (додаток А), ми здійснили моделювання гідрографів стоку паводкових вод з 4 малих заліснених водозборів, розташованих у верхів'ї річки Чорна Тиса (рис. 5.1).

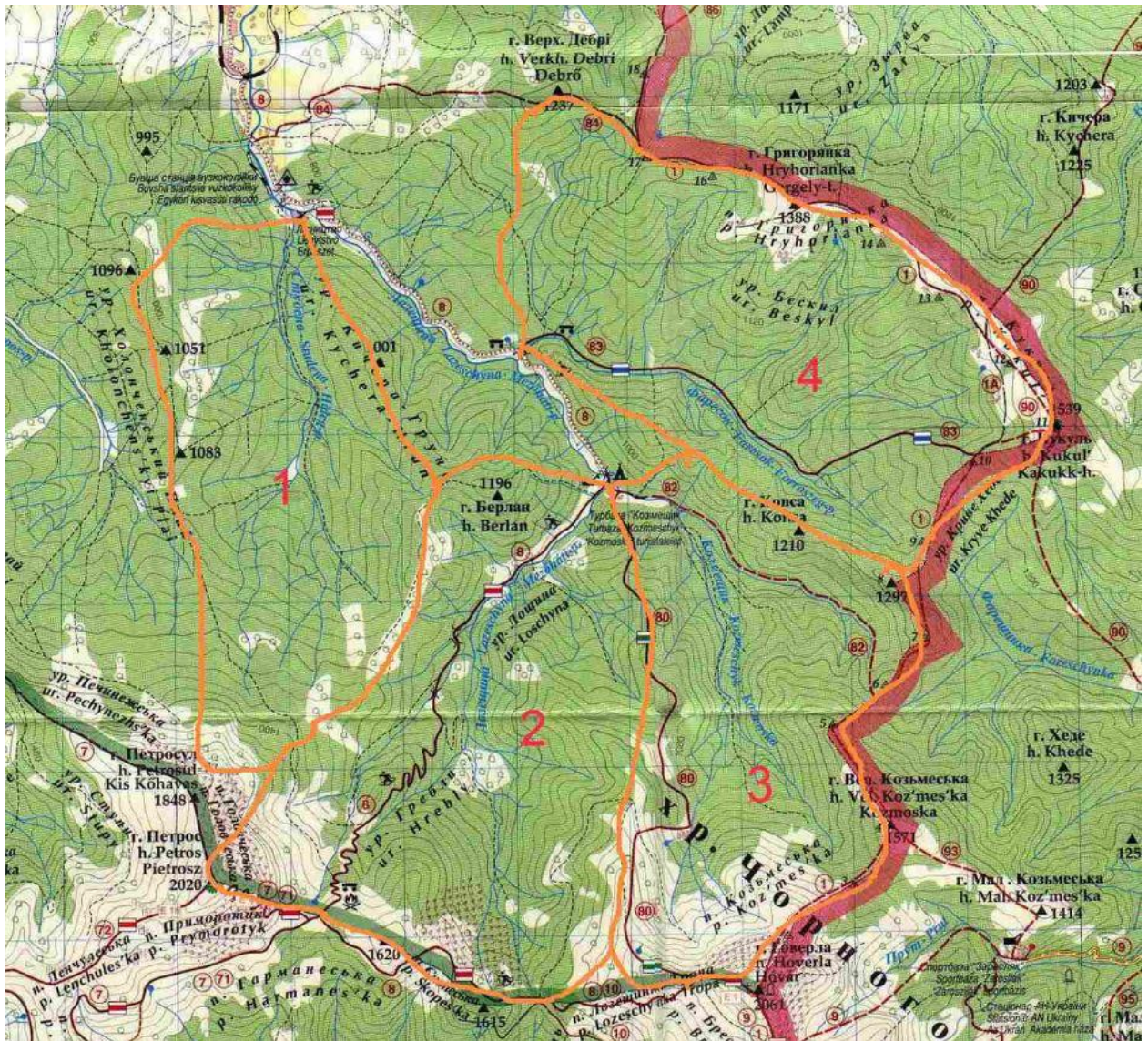


Рис.5.1. Розташування водозборів у басейні річки Чорна Тиса

Площа першого водозбору становить 348 га, другого - 361 га, третього – 296 га та четвертого - 387 га. Водозбори високолісисті, безлісні площі розташовані переважно у верхній частині водозборів.

На основі швидкості руслового та схилового стікання води згідно з генетичною теорією стоку на водозборах проведено ізохрони (лінії однакового часу добігання води) з кроком 5 хвилин.

Кількість виділених між ізохронами елементарних площ, окрім швидкості стікання води, визначається також відстанню від витoku до створу, тобто часу добігання води до створу від найвіддаленішої ділянки.

Значення інтерцепції опадів кронами деревостанів та підросту і інфільтрації для моделі прийнято з результатів експериментів, які отримані на лісогідрологічному стаціонарі. Для всіх чотирьох водозборів розраховано морфометричні характеристики.

Для розрахунку моделі гідрографа з матеріалів Рахівської метеостанції нами взято дані про інтенсивність і величину трьох дощів, які реально випадали у регіоні. За своїми характеристиками вони були паводкоформувальними і їх параметри дозволяли використати їх у розрахунках. Один дощ був величиною 44 мм, другий – 31 мм, а третій – 62 мм.

У таблицях 5.1 – 5.3 наведено результати моделювання витрат води через інтервали 5 хв. під час стікання кожного з трьох паводків, що були спричинені трьома відібраними для розрахунку дощами.

Схилувий стік на кожному з водозборів починає формуватися у різний час – початок фіксації збільшення водності від дощу залежить від морфометричних показників водозборів та лісотаксаційних характеристик насаджень.

Графіки змодельованих гідрографів паводків приведені на рис. 5.2 – 5.4.

Таблиця 5.1

Витрати води дощового паводку, спричиненого дощем величиною 31 мм, л/с

П'ятихвилинні інтервали	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Водозбір 4	0,0	0,0	0,0	0,8	5,3	16,4	27,3	33,7	41,4	48,2	54,1	46,7	39,9	35,4	31,5
Водозбір 2	0,0	0,0	0,0	1,6	4,6	12,7	20,3	31,5	49,9	40,7	29,4	26,4	23,4	21,0	16,7
Водозбір 1	0,0	0,0	0,4	1,4	2,2	9,1	14,5	22,0	30,5	48,0	36,9	32,1	27,2	18,4	14,0
Водозбір 3	0,0	0,0	0,0	1,8	6,1	10,9	18,7	29,4	34,6	30,8	26,9	19,3	14,7	11,1	6,7

продовження таблиці 5.1

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
26,0	19,3	14,7	14,0	12,5	9,6	8,0	6,7	4,8	5,4	4,9	3,4	2,2	1,4	0,6
12,8	10,5	8,5	5,3	3,2	1,9	1,2	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3
8,9	7,3	6,3	4,2	3,4	2,7	2,0	2,5	2,2	1,6	1,1	0,7	0,6	0,4	0,3
4,2	6,1	5,5	3,9	2,5	2,2	2,1	1,8	1,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2

Таблиця 5.2

Витрати води дощового паводку, спричиненого дощем величиною 62 мм, л/с

П'ятихвилинні інтервали	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Водозбір 4	0,0	0,0	2,4	10,5	22,0	45,2	65,2	77,0	89,7	119,2	108,9	100,2	89,0	79,4	72,3
Водозбір 2	0,0	0,0	0,0	3,9	10,9	29,8	47,8	74,2	118,1	95,8	78,9	72,0	64,8	49,5	39,3
Водозбір 1	0,0	0,0	0,9	3,1	4,7	19,6	31,5	47,7	66,0	90,4	104,0	69,6	58,9	45,3	30,3
Водозбір 3	0,0	0,0	0,0	4,0	13,7	24,7	42,4	66,3	80,2	69,6	54,0	41,6	31,3	23,8	15,1

продовження таблиці 5.2

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
61,7	46,4	38,0	30,3	27,0	20,7	17,4	13,7	11,8	10,8	10,2	8,3	4,7	3,1	1,3
32,8	22,7	20,1	12,4	8,1	4,4	3,1	1,7	1,5	1,2	1,5	0,9	0,4	1,0	0,7
22,1	15,8	11,8	9,1	7,4	5,8	4,2	5,4	4,7	3,6	2,5	1,6	1,3	0,9	0,7
13,8	12,3	10,0	8,8	8,2	6,2	4,0	3,3	2,0	1,5	0,8	0,9	0,7	0,7	0,5

Таблиця 5.3

Витрати води дощового паводку, спричиненого дощем величиною 44 мм, л/с

П'ятихвилинні інтервали	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Водозбір 4	0,0	0,0	0,0	1,3	8,0	24,9	40,3	44,9	55,2	64,2	79,7	66,6	64,5	57,3	51,0
Водозбір 2	0,0	0,0	0,0	2,7	7,5	19,3	30,9	48,0	61,9	75,9	57,4	42,6	37,8	32,0	25,4
Водозбір 1	0,0	0,0	0,6	2,1	3,1	12,9	20,7	31,5	43,5	68,5	52,6	45,9	38,8	26,3	25,3
Водозбір 3	0,0	0,0	0,0	2,5	8,7	15,6	26,8	41,9	52,7	47,5	40,4	33,0	25,2	19,1	15,0

продовження таблиці 5.3

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
42,0	31,2	23,8	20,0	19,0	14,6	12,2	10,2	8,4	8,2	6,3	4,0	4,5	2,7	1,1
19,4	16,0	12,2	7,5	4,6	2,6	2,0	3,1	1,0	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,5
16,0	13,2	10,8	6,0	5,1	4,0	2,9	3,5	3,1	2,4	1,7	1,1	0,9	0,6	0,5
11,5	8,7	7,8	5,6	3,5	3,1	2,9	2,5	2,1	1,3	0,9	0,7	0,5	0,5	0,3

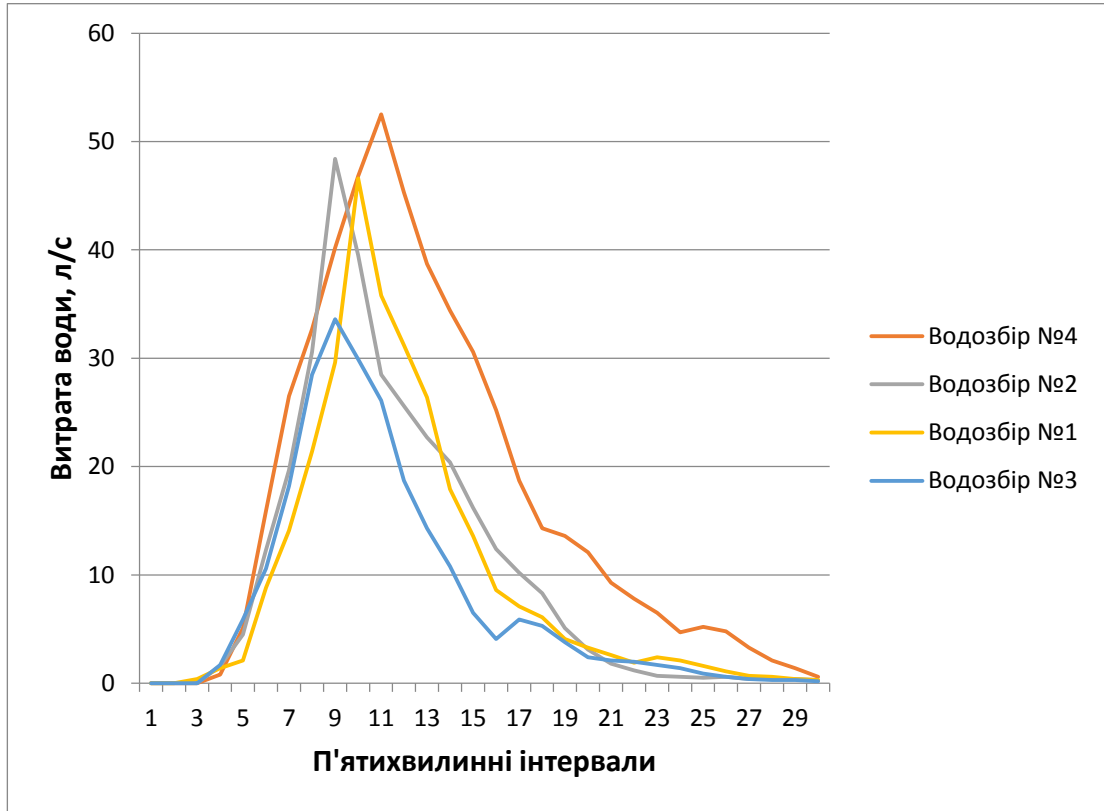


Рис. 5.2 Гідрограф паводку, спричиненого дощем 31 мм

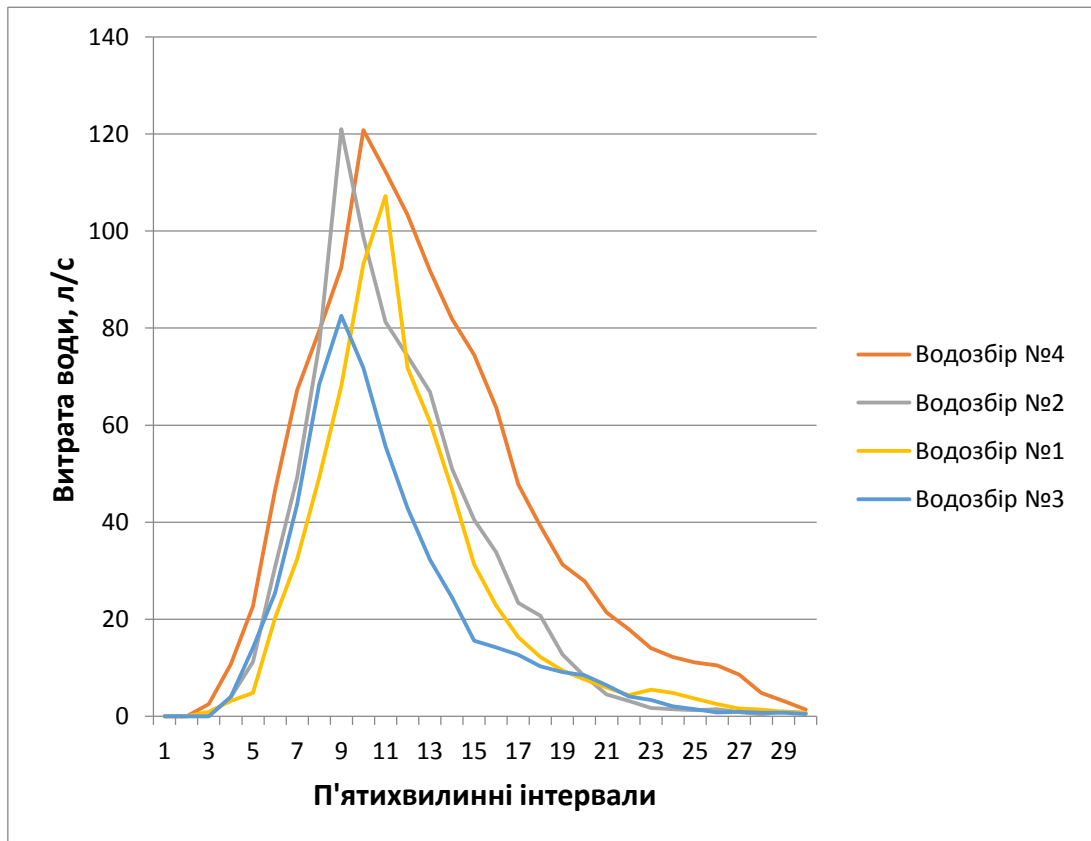


Рис. 5.3 Гідрограф паводку, спричиненого дощем 62 мм

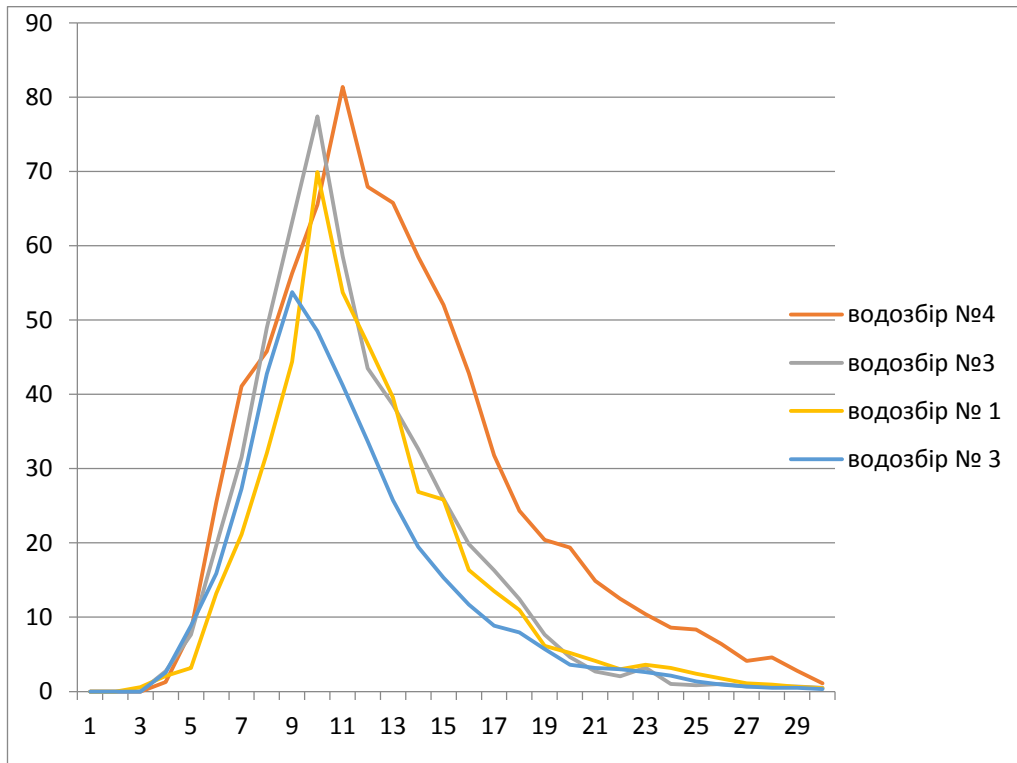


Рис. 5.4 Гідрограф паводку, спричиненого дощем 44 мм

Важливою лісогідрологічною характеристикою кожного паводку є максимальна витрата води під час його проходження $Q_{\text{макс}}$ (л/с) та відповідний їй модуль стоку q (л/с·га).. Останній дозволяє оцінити формування стоку з одиниці площі водозбору і порівняти за цією ознакою різні водозбори.

У таблиці 5.4 наведені розрахунки максимальних витрат та модуля стоку з кожного водозбору під час дощів різної величини.

Таблиця 5.4

Максимальні витрати Q та модулі стоку q для кожного паводку

№ водозбору	дощ 31 мм		дощ 44 мм		дощ 62 мм	
	Q , л/с	q (л/с·га)	Q , л/с	q (л/с·га)	Q , л/с	q (л/с·га)
1	48	0,14	68,5	0,20	104	0,30
2	49,9	0,14	75,9	0,21	118,1	0,33
3	34,6	0,12	52,7	0,18	80,2	0,27
4	54,1	0,14	79,7	0,21	119,2	0,31

Величина максимальних витрат при однакових для чотирьох водозборів дощах відповідає величині водозборів - найбільша витрата зафіксована на четвертому водозборі, дещо менша – на другому і найменша з усіх - на третьому.

Найменша різниця у модулях стоку буде при дощі величиною 31мм. При зростанні величини дощу зростають значення модулів стоку та їх диференціація між водозборами.

У цілому можна стверджувати, що високолісисті малі гірські водозбори не показують різкого збільшення водності при дощі 31 мм, проте при величинах опадів 44мм і 62 мм стокорегулювальні можливості водозбірних екосистем і лісів на них значно зменшується.

ВИСНОВКИ

1. Верхів'я річки Тиси до державного кордону України розташоване у гірській місцевості з характерними для неї умовами формування стоку води. Тут можуть випадати інтенсивні та тривалі дощі, що у сукупності з крутими схилами водозборів зумовлює можливість різкого підняття рівнів та витрат води аж до утворення стихійних лих – повеней. Річка з назвою Тиса утворюється злиттям двох річок: Чорної Тиси та Білої Тиси, басейни яких відзначаються великою густотою річкової мережі.

2. На досліджуваній території були створені 6 гідрометричних постів, з них два (Чорна Тиса – с. Білин та Біла Тиса – с. Розтоки) закриті у 1988 році. Проте до моменту закриття ці два пости працювали впродовж відповідно 42 та 33 років, що дозволяє вважати середньобогаторічні значення стоку на цих постах нормою стоку і використовувати для гідрологічних розрахунків.

3. Показник характеру розташування лісів на малих водозборах ϵ , який відображає стокорегулювальні можливості лісів, дуже різноманітний. На високолісистих водозборах він більший за 0,9, а на мало заліснених менший за 0,03. При однаковій загальній лісистості водозборів ϵ може суттєво відрізнятися.

4. Існуючі коефіцієнти стокорегулювання малих водозборів варіюють у межах 0,13 – 1,04, тобто можливості водозбірних екосистем запобігати повеням при великих дощах дуже відрізняються. Зі зростанням лісистості водозборів збільшуються їх коефіцієнти стокорегулювання. Однак на цю залежність впливають і інші чинники: характеристики існуючих лісонасаджень, типи лісу на заліснених ділянках.

5. Практично усі досліджені малі водозбори потребують здійснення на них заходів для підвищення стокорегулювальної ролі лісів. Першочерговість цих заходів можна визначати, виходячи з комплексу «затрати - ефект), тобто якщо на певному водозборі досягнути значного збільшення коефіцієнту

стокорегулювання можна з меншими затратами, то роботи слід починати саме тут.

6. Аналіз існуючих та потенційних коефіцієнтів стокорегулювання показав, що на окремих водозборах навіть при середніх значеннях $KC_{існ}$ коефіцієнт стокорегулювання можна підвищити на 0,8. Тут добитися відчутного результату найлегше.

7. Розрахунки водоохоронного впливу лісів на водозборах шести річок у верхів'ї Тиси показують, що на кожному водозборі максимальне значення $\Delta CГ$ проявляється при певній частковій його лісистості, яка називається оптимальна водоохоронна лісистість (ОВЛ). і становить 66 – 67%. Близькі значення ОВЛ є передбачуваним результатом, адже водозбори розташовані в однакових геоморфологічних та лісотипологічних умовах. Проте значення у міліметрах специфічне для кожного водозбору.

8. Різниця між величиною додаткового об'єму стоку $\Delta CГ$ при оптимальній і існуючій лісистості водозборів відображає резерв підвищення за рахунок впливу лісу ґрунтового стоку при умові досягнення ОВЛ. Можна також розрахувати водоохоронний вплив лісів у кубічних метрах.

9. Моделювання гідрографів дощових паводків з малих заліснених водозборів показало, що величина максимальних витрат при однакових для чотирьох водозборів дощах відповідає величині водозборів – найбільша витрата зафіксована на четвертому водозборі, дещо менша – на другому і найменша з усіх - на третьому. Найменша різниця у модулях стоку буде при дощі величиною 31мм. При зростанні величини дощу зростають значення модулів стоку та їх диференціація між водозборами.

10. У цілому можна стверджувати, що високолісисті малі гірські водозбори не показують різкого збільшення водності при дощі 31 мм, проте при величинах опадів 44 мм і 62 мм стокорегулювальні можливості водозбірних екосистем і лісів на них значно зменшується.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chang M. /Forest Hydrology An introduction to Water and Forests. / M. Chang. – Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Grop, 2006. – 474 p.
2. Ciepielowski A. Kształowanie się wezbrań opadowych w Sudetach Zachodnich / A. Ciepielowski, K. Kucharska T. Wawrzoniak // Prace Instytutu badawczego leśnictwa. - 2001/2. - № 916. – S. 59-87.
3. ENGLER, A., 1919. Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitt. Schweiz. Anst. Forst. Versuchswes., 12, 636 pp.
4. HEGG, CH., McARDELL, B. W., BADOUX, A., 2006. One hundred years of mountain hydrology in Switzerland by the WSL, Hydrol. Process., 20,371-376.
5. JEWITT, G., 2005. Water and Forests. In: Encyclopedia of Hydrological Sciences (Ed. M. G. Anderson, J.J. McDonnell), Chapter 186, John Wiley & Sons, Ltd., 2895-2909.
6. KANTOR, P., 1990. Základní vazby celkového výparu a odtoku ze smrkových a bukových lesů. Vodohospodársky časopis 38, č.3, 327-348.
7. KOSTKA, Z., HOLKO, L., 2006. Role of forest in hydrological cycle – forest and runoff. Meteorologický časopis, 9, 143-148.
8. MINĎÁŠ, J., ČABOUN, V., 2002. Influence of vegetation on catchment runoff. In Slovak, project VTP 27-64 E0203, final report, 26 pp
9. Negussie Hailu Tedela, Rainfall-runoff relationships for small, mountainous, forested watersheds in the eastern United States, - Athens, Georgia, 2009. – p.184
10. Бучинський І. О. Клімат Українських Карпат / І. О. Бучинський, М. М. Волеваха, В. О. Коржов. – К.: Наукова думка, 1971. – С. 126-132.
11. Врублевська О.В., Кульчицький–Жигайло І.Є Кількісне та економічне оцінювання продуктивності водоохоронної функції лісу//Науковий вісник НЛТУ України, 2007. Вип. 17.6 . С. 58 – 64.

12. Кіндюк Б. В. Гідрографічна мережа та зливовий стік річок Українських Карпат : автореф. дис ... д-ра геогр. наук: 11.00.07 . Київ, 2004. 30 с.
13. Козій Н. І. Формування стоку дощових паводків з малого карпатського водозбору та його різнозаліснених частин / Н. І. Козій, І. Є. Кульчицький-Жигайло // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. – 2013. – Вип. 39-1. – С. 13–19.
14. Козій Н. І. Характеристики стоку дощових паводків з малих водозборів різної лісистості в Українських Карпатах / Н. І. Козій // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.4 – С. 91–98
15. Кульчицький-Жигайло І. Є. Використання гідрологічних та захисних функцій лісів Карпат: проблеми нормативного забезпечення / І. Є. Кульчицький-Жигайло // Ресурси природних вод Карпатського регіону. 11-а Міжнародна науково-практична конференція. 23-24.05.2012.– Львів:ЛьВДЦНТІ, 2012. – С. 32-34.
16. Кульчицький-Жигайло І. Є. Водорегулююча здатність водозбірних екосистем в Українських Карпатах / І. Є. Кульчицький-Жигайло // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. - № 3. - 1991. - С. 22-23.
17. Кульчицький-Жигайло І. Є. Ліс як стокорегулюючий фактор на водозборах гірських річок / І. Є. Кульчицький-Жигайло - Природні ліси в помірній зоні Європи – цінності та використання. Міжнародна конференція. 13-17 жовтня 2003. - Бірменсдорф-Рахів, 2003. - С. 210-211.
18. Кульчицький-Жигайло І. Є., Козій Н.І. Моделювання гідрографів стоку дощових паводків з малих водозборів Карпат до і після проведення рубок лісу на них// Ресурси природних вод Карпатського регіону / Проблеми охорони та раціонального використання. Матеріали Вісімнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 23–24 травня, 2019р.): збірник наукових статей – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019. – С. 32 – 34.

19. Кульчицький-Жигайло І. Є. Гідрологічна роль лісу у періоди різної водності / І. Є. Кульчицький-Жигайло // Розточанський збір – 2000: міжнародна науково-практична конференція: матеріали доповідей. – Львів: Меркатар, 2001. – Кн. 2. - С. 203-206.
20. Кульчицький-Жигайло І. Є., Козій Н.І. Модель формування стоку дощових паводків з малого залісненого гірського водозбору // Ресурси природних вод Карпатського регіону. /Проблеми охорони та раціонального використання/. Матеріали Шістнадцятої міжнародної науково-практичної конференції (м.Львів, 26–27 травня, 2017р.): збірник наукових статей. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка» , 2017. – С. 42 – 46.
21. Куценко М. В. Оптимізація стану малих річок / М. В. Куценко //Український географічний журнал. – 2003. – № 3. – С. 27–33.
22. Олійник В. С. Перерозподіл атмосферних опадів наметом гірських лісів Карпат / В. С. Олійник // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України, 2008. – Вип. 18.6. – С. 12-18.
23. Олійник В. С. Вплив лісу на формування схилового стоку води в Карпатах / В. С. Олійник // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2002. – Вип. 102. – С. 102-105.
24. Олійник В. С. Закономірності водного режиму річок Карпат у зв'язку з антропогенними змінами лісистості водозборів / В. С. Олійник // Лісівництво і агролісомеліорація. - 2002. - № 101. – С. 52-56.
25. Олійник В. С. Паводкорегулююча роль гірських лісів Карпат / В. С. Олійник // Екологічні та соціально-економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у карпатському регіоні (повені, селі, зсуви): Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Рахів, 1999. – С. 257-260.
26. Поляков А. Ф. Оценка водорегулирующих свойств горных лесов Украины / А. Ф. Поляков // Лесоводство и агролесомелиорация. - 1981. - в. 60. - С. 21-23.

27. Стихійні якища в гірсько-лісових умовах Українських Карпат (вітровали, паводки, ерозія ґрунту). Монографія / Калуцький І. Ф., Олійник В. С. – Львів: Камула, 2007. – 240 с.
28. Чубатий О. В. Гірські ліси – регулятори водного режиму / О. В. Чубатий. – Ужгород: Карпати, 1984. – С. 96-98.
29. Чубатий О. В. Захисна роль Карпатських лісів: монографія / О. В. Чубатий. – Ужгород: «Карпати», 1968.– С. 104-112.

ДОДАТОК

Методика моделювання гідрографа стоку води

З використанням методичних підходів моделі HAKESCH та експериментальних досліджень кафедри екології розроблена математична модель формування стоку дощових паводків. Вона дозволяє на основі покрокового розрахунку стоку дощового паводку визначити величину максимальної витрати води у замикаючому створі та наближено розрахувати гідрограф стоку. У моделі розраховується лише схиловий стік паводку від ефективного дощу.

Для кожної ділянки таким дощем є величина опадів після насичення лісового намету та початкових втрат на зволоження ґрунту, тобто з моменту початку схилового стоку. Модель не враховує базовий ґрунтовий стік води і інтенсивне живлення водостоку ґрунтовими водами у період проходження паводку, тому може бути використана лише для моделювання стоку нетривалих інтенсивних злив.

Першим етапом моделювання є визначення характеристик русел потоків та вкритих лісом і безлісних схилів. Час руслового і схилового добігання води визначається через швидкість руслового V_p і схилового $V_{сх}$ стоку. Швидкість руху води у руслі розраховано за формулою Шезі на основі ухилу русла, його шорсткості та гідравлічного радіусу. Ізохрони проведено з часовим кроком 5 хвилин.

Моделювання стоку полягає у визначенні витрат води у замикаючому створі через відтинки часу Δt і побудові гідрографа стоку.

Нехай маємо n ізохрон з часом добігання Δt (у подальших розрахунках приймаємо $\Delta t = 5$ хв.). Площу між замикаючим створом і першою ізохроною позначимо f_1 , площу між першою і другою ізохроною f_2 і т.д. Це означає, що через час Δt від початку водовіддачі у замикаючому створі басейну буде вода, яка добігла з елементарної площі f_1 , через час $2\Delta t$ – з елементарної площі f_1 та елементарної площі f_2 , через час $3\Delta t$ – з елементарної площі f_1 , елементарної

площі f_2 та елементарної площі f_3 , через час $n\Delta t$ і подальші періоди – з усіх елементарних площ, тобто з усього водозбору. Припускаючи, що дощ можна представити як часовий ряд опадів з середніми в межах інтервалу $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ (приймаємо $\Delta t_i = 5$ хв, $t_i = 1 \dots m$) з інтенсивностями i_1, i_2, \dots, i_m , ординати гідрографа записуються як:

$$Q_1 = q_1 f_1$$

$$Q_2 = q_2 f_1 + q_1 f_2$$

$$Q_3 = q_3 f_1 + q_2 f_2 + q_1 f_3$$

.....

$$Q_n = q_n f_1 + q_{n-1} f_2 + \dots + q_1 f_n$$

$$Q_{n+1} = q_{n+1} f_1 + q_n f_2 + \dots + q_2 f_n$$

.....

$$Q_m = q_m f_1 + q_{m-1} f_2 + \dots + q_{m-n+1} f_k$$

$$Q_{m+1} = q_m f_2 + q_{m-1} f_3 \dots + q_{m-n+2} f_k$$

.....

$$Q_{m+n-1} = q_m f_k,$$

де Q_i – витрата води у створі, л/с; q_i – модуль стоку, мм/хв.

Зауважимо, що поверхневий схиловий стік залежить як від інтенсивності дощу, так і типу лісової поверхні, тому модуль стоку є різним для вкритих лісом з різними лісотаксаційними характеристиками і безлісних частин елементарної площі f_j .

Нехай на водозборі присутні l різних типів лісовкритих чи безлісних площ. Тоді кожен елементарну площу f_j можна представити як суму наявних на ній площ різних лісів чи безлісних ділянок, що лежать на ній.

$$f_j = f_j^{(1)} + f_j^{(2)} + f_j^{(3)} + \dots + f_j^{(l)}$$

Модуль стоку, мм/хв., який формується часовим рядом опадів інтенсивністю i_j ($j=1, \dots, m$) з кожної такої ділянки i_i ($i_i=1 \dots k$) виражається як

$$q_j^{(ii)} = C_{i_j}^{(ii)} h_{i_j}^{(ii)} i_j,$$

де $C_{i_j}^{(ii)}$ – безрозмірні коефіцієнти стоку, які залежать від інтенсивності дощів та характеристик лісової чи безлісної ділянки.

Коефіцієнт $h_{i_j}^{(ii)}$ показує, яка частина опадів, що випала у даному часовому інтервалі на ділянку ii , йде на формування поверхневого стоку з цієї ділянки. Поки поверхневий стік відсутній коефіцієнт $h_{i_j}^{(ii)}$ дорівнює 0 (приймається, що поверхневий стік починається лише після того, як намет лісу повністю насичений та ґрунт зволожений до стадії початку стоку при даній інтенсивності). Коли ж почався поверхневий стік, то для даного j -часового періоду коефіцієнт $h_{i_j}^{(ii)}$ дорівнює відношенню кількості опадів даного періоду, що йдуть на формування поверхневого стоку, до загальної кількості опадів $0 \leq h_{i_j}^{(ii)} \leq 1$. Якщо усі опади даного періоду йдуть на формування поверхневого стоку, то $h_{i_j}^{(ii)} = 1$. Таким чином, перше ненульове значення $h_{i_j}^{(ii)}$ вказує на період j початку поверхневого стоку з ii ділянки.

Коефіцієнт $h_{i_j}^{(ii)}$ визначається за формулою:

$$h_{i_j}^{(ii)} = (i_j \Delta t - I_{i_j}^{(ii)} - G_{i_j}^{(ii)}) / (i_j \Delta t),$$

де $I_{i_j}^{(ii)}$ – інтерцепція під час j -періоду;

$G_{i_j}^{(ii)}$ – кількість опадів j -періоду, що йдуть на змочування ґрунту (ґрунтової ємності) до початку схилового стоку.

Для кожної ділянки (ii) показники суцільності намету $(1-p)^{(ii)}$ та величина кількості опадів $Ps^{(ii)}$, що необхідна для повного насичення намету, були встановлені під час дослідження процесу інтерцепції.

Від початку опадів частина їх $(1-p)$ йде як на насичення лісового намету, так і на випаровування під час цього насичення, а решта – частина p – на наповнення ґрунтової ємності. Коли лісовий намет насичений, тоді інтерцепція під час опадів буде дорівнювати лише випаровуванню з мокрого намету, дощ (за винятком частини, що не випаровувалася з повністю намоченого намету) буде йти на насичення ґрунтової ємності. Лише після того, як ґрунтова ємність

P_G буде досягнута, починається поверхневий стік. Часовий зсув початку формування поверхневого стоку залежить як від намету лісу, так і від ґрунтової ємності.

Інтерцепція в j -період з (ii) ділянки розраховувалася як:

$$I_{i_j}^{(ii)} = \begin{cases} (1 - p^{(ii)})\Delta t i_j, & \Delta t \sum_{k=1}^j i_k \leq P_s^{(ii)} \\ P_s^{(ii)} - \Delta t \sum_{k=1}^{j-1} i_k, & \Delta t \sum_{k=1}^j i_k > P_s^{(ii)} \text{ i } \Delta t \sum_{k=1}^{j-1} i_k < P_s^{(ii)} \\ 0, & \Delta t \sum_{k=1}^{j-1} i_k > P_s^{(ii)} \end{cases}$$

Кількість опадів, що йде на насичення ґрунту:

$$G_{i_j}^{(ii)} = \begin{cases} \Delta t i_j - I_{i_j}^{(ii)}, & I_{i_j}^{(ii)} > 0 \\ \Delta t i_j, & \Delta t \sum_{k=1}^j i_k - P_s^{(ii)} \leq P_G^{(ii)} \\ P_G^{(ii)} - (\Delta t \sum_{k=1}^{j-1} i_k - P_s^{(ii)}), & \Delta t \sum_{k=1}^{j-1} i_k - P_s^{(ii)} \leq P_G^{(ii)} \text{ i } \Delta t \sum_{k=1}^j i_k - P_s^{(ii)} > P_G^{(ii)} \\ 0, & \Delta t \sum_{k=1}^{j-1} i_k > P_G^{(ii)} \end{cases}$$

Перевірка моделі на зафіксованих паводках, сформованих інтенсивними зливами, показала задовільне співпадання фактичних та розрахованих максимальних витрат води, різниця складала 17 – 23 %.