

1. ЛІСОВЕ ТА САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 630*165.3:504

*Доц. Ю.І. Гайда, д-р с.-г. наук –
Український НДІ гірського лісівництва; Тернопільський НЕУ*

ГЕОГРАФІЧНІ КУЛЬТУРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВИВЧЕННЯ РЕАКЦІЇ ЛІСОВИХ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ НА ЗМІНИ КЛІМАТУ

Узагальнено методологічні аспекти використання географічних культур лісових деревних видів для прогнозування їх адаптивної реакції на кліматичні зміни. Апробовано метод побудови регресійних моделей (функцій реагування) на прикладі мережі географічних культур дуба звичайного 1976-1977 рр. в Україні. Як незалежна змінна (регресор) цих функцій використано різницю між середньорічними температурами повітря, середньомісячними температурами січня, липня, річними амплітудами температури повітря, індексами континентальності клімату Горчинського і Хромова місцевості заготівлі насіння і місця створення географічних культур. Залежними змінними (регресантами) були середня висота, середній діаметр стовбурів, збереженість і запас стовбурової деревини провенієнції дуба. Встановлено, що ймовірним наслідком глобального потепління (зростання середньорічної температури повітря на 4°C), може бути зниження інтенсивності росту дубових насаджень на 10-17 %.

Ключові слова: зміна клімату, географічні культури, провенієнції дуба звичайного, функція реагування.

Сьогодні антропогенний чинник вважають однією із ключових причин глобальних кліматичних змін [2]. Швидкість таких змін значно перевищує темпи еволюційної реакції лісових деревних порід [11]. Тому до пріоритетних питань наукової дискусії стосовно наслідків глобального потепління належить моделювання сценаріїв змін клімату, прогнозування трансформації ареалів та популяційно-просторової структури видів лісової арборифлори, визначення можливих флуктуацій їх адаптивних і неадаптивних ознак [8].

Відповідно до наявних прогнозів Міжурядової групи експертів зі змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) впродовж наступних 100 років середня температура у Європі може збільшитися на 2-4° С [3]. Однозначно, глобальне потепління прямо чи опосередковано може певним чином вплинути на поширення, ріст та стійкість основних лісоутворювальних порід в Україні. Надійним генекологічним інструментом отримання інформації про сценарії адаптації лісових деревних порід до ймовірних кліматичних флуктуацій є географічні культури – випробувальні культури потомств географічно віддалених популяцій [6, 9, 10, 12].

Методологічною основою використання географічних культур для прогнозування реакції лісових деревних видів на кліматичні зміни є особливості методики їх створення. Як правило, кліматичні умови в пунктах заготівлі насіння та місцях створення дослідних культур можуть істотно відрізнитися. Особливо це стосується випробування географічно віддалених популяцій видів із широким ареалом. Різниця між показниками клімату джерел насіння та пункту випробування провенієнції може бути подібною до величин прогнозованих се-

редньострокових і довгострокових змін цих показників клімату. Зіставлення кількісних значень адаптивних ознак потомств географічних популяцій лісових деревних видів і/або їх відхилень від значень потомства місцевої популяції з різницями "кліматичний показник материнського насадження – кліматичний показник у пункті випробування" дає змогу апроксимувати статистичну залежність між цими показниками певною регресійною функцією, яка отримала назву функції реагування [10].

Методика і об'єкти дослідження. Для визначення рівня і напрямків можливої реакції на кліматичні зміни одного із найважливіших лісових деревних видів України дуба звичайного використано дані багаторічних обмірів мережі його географічних культур, які було створено у 1975-1977 рр. у чотирьох регіонах: на Закарпатті – в Мукачівському держлісгоспі (24 провенієнції), у Правобережному Лісостепу – у Вінницькому держлісгоспі (28 провенієнції), у Лівобережному Лісостепу – у Тростянецькому держлісгоспі та у Байрачному Степу – у Ворошиловградському (нині Луганському) держлісгоспі (по 23 провенієнції).

Як незалежна змінна використано різницю середньорічних температур повітря, середньомісячних температур січня, липня, річних амплітуд температури повітря, індексів континентальності клімату Горчинського і Хромова між місцевостями заготівлі насіння і місцями створення географічних культур. Залежними змінними (регресантами) були середня висота, середній діаметр стовбурів, збереженість і запас стовбурової деревини провенієнції дуба, а точніше їх відсоткове відхилення від показника місцевої популяції. Такий підхід дав змогу об'єднати (узагальнити) дані, отримані в різних пунктах випробування, в яких абсолютні значення показників росту провенієнції внаслідок дії комплексу абіотичних і біотичних чинників дещо відрізняються.

При виборі математичної моделі (специфікації моделі) враховували необхідність обов'язкового включення до неї вільного члена навіть тоді, коли модель без нього була більш адекватною за усіма критеріями. Такий підхід пояснюється тим, що присутність вільного члена є доцільною як з огляду на зміст явища (у нашому випадку ріст географічних культур залежить не тільки від температурних факторів), так і на статистично-математичні характеристики моделі. Останнє означає, що по-перше, модель без вільного члена не можна оцінювати за критерієм R^2 , по-друге – сума відхилень (залишків, збурень) теоретичних значень від емпіричних у такій моделі не дорівнює нулю [4]. Варто зазначити, що не дивлячись на згадані вище моменти, деякі автори використовували у своїх дослідженнях моделі без вільного члена [12].

Для аналізу використано кліматичні дані з on-line бази даних Solargis.info [7], які отримано за допомогою інтерактивної карти, що забезпечує достатній рівень детальності і точності. Індекс континентальності клімату в пунктах заготівлі жолудів визначено за А.В. Горчинським [1] та С.П. Хромовим [5]. Річну амплітуду коливань температури (Аmp) розраховано як різницю між середніми температурами липня і січня.

Результати досліджень та обговорення. На основі аналізу значного масиву даних росту дуба звичайного в 10-34-річних географічних культурах отри-

мано низку регресійних моделей, які відображають форму і напрямок статистичного зв'язку між показниками клімату та параметрами росту і розвитку дуба різного географічного походження (табл. 1). Функції реагування в десятирічних культурах в основному є лінійними (моделі 1, 2, 4, 7). Тільки в географічних культурах у Луганській обл. найбільш адекватним виявилось рівняння гіперболи (модель 3). Усі ці регресійні функції пояснюють від 13,3 % до 36,5 % мінливості показника відхилення росту кліматипів від росту місцевого (контрольного) варіанта. І це цілком зрозуміло, адже диференціація росту потомства географічних популяцій лісових деревних порід в нових умовах визначається не тільки відмінністю температурного режиму повітря між місяцями зростання материнських насаджень і пунктами їх випробування, але й різницею інших показників клімату, ґрунту, гідрології, рельєфу. Загалом усі отримані функції реагування висоти дубків показують, що у багатьох випадках переміщення жолудів із холодніших умов у тепліші супроводжується зниженням інтенсивності росту провенієнцій відносно місцевої популяції і навпаки.

Табл. 1. Функції реагування висоти (H), діаметра стовбура (D), збереженості (Z) та запасу стовбурової деревини (V) провенієнцій дуба звичайного на зміну середньорічної температури повітря (T)

№ моделі	Місцезнаходження географічних культур	Вік культур	Функція реагування	Критерії значущості і адекватності моделі		
				F критерій	p <	R ²
1	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	10	$H = 7,487 - 4,279T$	5,96	0,022	0,206
2	Вінницька обл., ДП "Вінницьке ЛГ"	10	$H = 3,014 - 3,264T$	14,95	0,0006	0,365
3	Луганська обл., ДП "Луганське ЛГ"	10	$H = - 8,959 + 8,651/T$	7,98	0,0105	0,285
4	Усі геокультури держмережі	10	$H = - 0,297 - 2,538T$	18,58	0,0003	0,133
5	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	15	$H = 3,778 + 2,368T - 1,510T^2$	5,38	0,013	0,339
6	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	20	$H = 5,514 - 0,860T^2$	4,61	0,043	0,173
7	Вінницька обл., ДП "Вінницьке ЛГ"	10	$D = - 5,361 - 2,194T$	5,04	0,035	0,180
8	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	34	$Z = 39,140 - 26,669T + 3,991T^2$	5,645	0,0109	0,349
9	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	34	$V = 7,775 - 17,227T + 2,11T^2$	3,64	0,043	0,258

Функції регресії збереженості і запасу стовбурової деревини на зміну середньорічної температури повітря (моделі 8 і 9) також ілюструють зменшення цих показників у разі підвищення середньорічної температури на 3-4°C.

У табл. 2 наведено значущі рівняння регресії висоти дуба звичайного (у % від висоти місцевого варіанта) на зміну інших кліматичних показників. Як бачимо, підвищення середніх температур як і липня, так і січня зумовлює певне зниження середньої висоти дерев дуба (моделі 10, 11, 13, 17, рис. 4). Подібними можуть бути наслідки збільшення континентальності клімату (моделі 12, 14-16, 18).

Отримані моделі можуть бути використані для прогнозування кількісних показників можливої реакції росту дуба звичайного на глобальне потепління, яке супроводжуватиметься підвищенням як середньорічних, так і середньомісячних температур. Однак тут потрібно обов'язково зробити застереження про певну наближеність прогнозних оцінок, оскільки адекватність більшості моделей не є задовільною.

Табл. 2. Функції реагування висоти (H) провенієнцій дуба звичайного на зміну показників клімату: Jan – середньої температури січня, Jul – середньої температури липня, Amp – річної амплітуди температури повітря, Gorch – індексу континентальності клімату Горчинського, Hrom – індексу континентальності клімату Хромова

№ моделі	Місцезнаходження географічних культур	Вік культур	Функція реагування	Критерії значущості і адекватності моделі		
				F критерій	p <	R ²
10	Сумська обл., ДП "Тростянецький ЛГ"	10	$H = 2,427 - 1,037Jul^2$	6,67	0,017	0,225
11	Вінницька обл., ДП "Вінницьке ЛГ"	10	$H = 4,969 - 2,767Jan$	22,99	0,0001	0,469
12	Вінницька обл., ДП "Вінницьке ЛГ"	10	$H = 3,626 - 0,252Amp^2$	6,32	0,018	0,196
13	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	10	$H = 10,562 - 4,353Jan$	20,83	0,0001	0,475
14	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	10	$H = 7,388 - 0,617Amp^2$	24,27	0,0001	0,513
15	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	10	$H = 5,764 - 0,116Gorch^2$	9,95	0,004	0,302
16	Закарпатська обл., ДП "Мукачівське ЛГ"	10	$H = 6,100 - 14556,7Hrom^2$	7,10	0,014	0,236
17	Усі геокультури держмережі	10	$H = -0,535 - 0,784Jan - 0,218Jan^2$	12,12	0,0001	0,166
18	Усі геокультури держмережі	10	$H = 0,237 - 0,329Amp^2$	20,56	0,0001	0,143

Якщо за основу взяти прогноз, зроблений IPCC (підвищення температури повітря на 4°C), то згідно з нашими моделями варто очікувати зниження середньої висоти 10-річних культур дуба звичайного на 10-17 %, 15-річних – на 15 %, 20-річних – на 14 % (табл. 1, рис. 1-3). Запас стовбурової деревини дубових насаджень у віці 34 роки може знизитися на 35 % як внаслідок падіння інтенсивності росту, так і зниження збереженості культур.

Зарубіжні автори проводили подібні дослідження з хвойними видами (ялиною канадською, сосною ладанною, сосною Банкса, ялиною європейською) у Північній Америці та Європі [6, 9, 12]. Вони побудували низку лінійних і нелінійних (головним чином параболічних) моделей, які відображають регресію середньої висоти або ж відносного відхилення росту потомств географічно віддалених популяцій від середньої висоти місцевого варіанта на різницю максимальних, мінімальних середньоденних температур, сум кількості літніх опадів. Коефіцієнти детермінації цих моделей, як і у нашому дослідженні, не є високими (0,137-0,463). Прогнози, зроблені для *Picea glauca* (Moench) Voss у Східній Канаді на основі симулятивних досліджень [6], є подібними до наших.

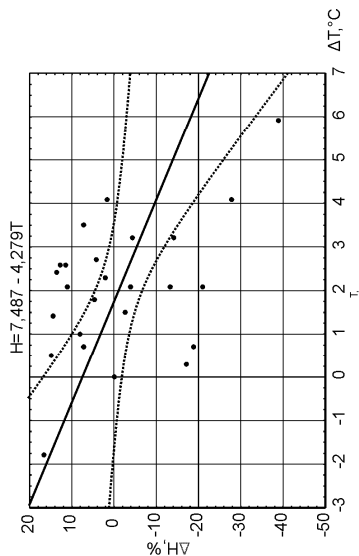


Рис. 1. Лінія регресії висоти дуба звичайного в 10-річних географічних культурах в Мукачівському лісгоспі на зміну середньорічної температури повітря

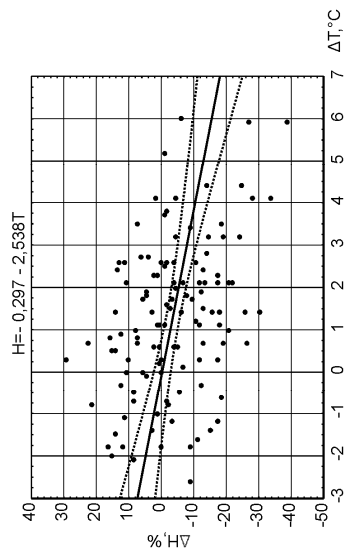


Рис. 2. Лінія регресії висоти дуба звичайного в 10-річних географічних культурах держмережі (в 5 пунктах випробування) на зміну середньорічної температури повітря

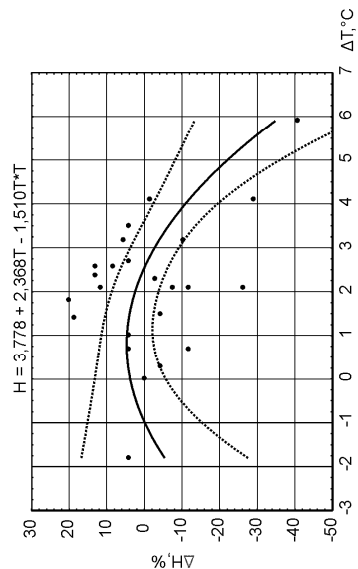


Рис. 3. Лінія регресії висоти дуба звичайного в 15-річних географічних культурах в Мукачівському лісгоспі на зміну середньорічної температури повітря

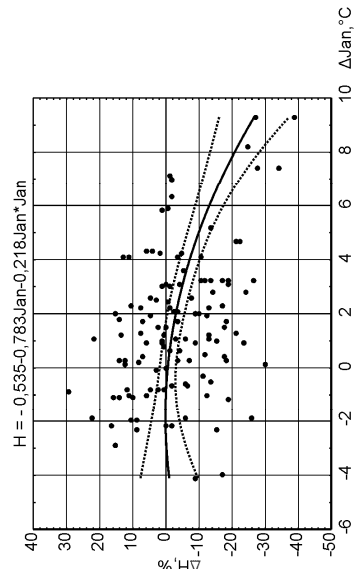


Рис. 4. Лінія регресії висоти дуба звичайного в 10-річних географічних культурах держмережі (в 5 пунктах випробування) на зміну середньої температури січня

За сценарію кліматичних змін, коли температура підвищиться на 4 °С, а кількість опадів зменшиться на 10 %, середня висота ялини канадської у віці 22 роки зменшиться на 14,1 %, а середній діаметр стовбура – на 13,9 %. Американський учений Р. Шмідтлінг (R.C. Schmidtling), який використав такий же методичний підхід, прогнозує падіння інтенсивності росту у висоту у сосни ладанної та ялини європейської внаслідок глобального потепління на 5-10 % [12]. Окрім цього, він наводить також прогнози інших авторів щодо зменшення показників росту та продуктивності інших деревних видів, зокрема падіння висоти у сосни звичайної – на 11,6 %, запасу стовбурової деревини у сосни короткохвойної – на 8,9 %, у сосни ладанної на 17-17,9 %.

Однак не усі прогнози є такими песимістичними. Ш. Матіаш стверджує, що для сосни Банкса (*Pinus banksiana* Lamb.) підвищення середньорічної температури повітря може привести до акселерації росту за умови достатньої кількості опадів. Тільки на південній межі ареалу цього виду можливі зниження його росту та конкурентоспроможності, що веде до сукцесійних змін [9].

Висновки. Географічні культури лісових деревних видів є важливим інструментом отримання емпіричних даних про адаптацію їх популяцій до нових мікрокліматичних та едафічних умов. Матеріали дослідження адаптивних ознак деревного виду в географічних культурах можна використати для визначення функцій реагування на зміну кліматичних параметрів.

За результатами багаторічних досліджень мережі географічних культур дуба звичайного 1975-1977 рр. побудовано низку регресійних моделей реагування його показників росту і продуктивності на коливання макрокліматичних параметрів. На основі цих моделей зроблено прогноз зміни стану насаджень дуба звичайного в Україні внаслідок глобального потепління. Підвищення середньорічної температури повітря ймовірно може привести до зниження середньої висоти дубових деревостанів у віці 10-20 років на 10-17 %.

Література

1. Астапенко П.Д. Вопросы о погоде / П.Д. Астапенко. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 392 с.
2. Дідух Я. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії / Я. Дідух // Вісник НАН України : зб. наук. праць. – 2009. – № 2. – С. 34-44.
3. Пачаури Р.К. Изменение климата, 2007 г: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Р.К. Пачаури, А. Райзингер, и осн. группа авторов (ред.) // Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). – Женева, Швейцария. – 105 с.
4. Кочан О. Метод умовних найменших квадратів для побудови моделі похибки терморпар / О. Кочан // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 6 (113). – С. 90-95.
5. Хромов С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов / С.П. Хромов. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 491 с.
6. Andalo C. The impact of climate change on growth of local white spruce populations in Quebec, Canada / C. Andalo, J. Beaulieu, J. Bousquet // Forest Ecology and Management. – Vol. 205 (2005). – Pp. 169-182.
7. iMaps: an interactive map that provides solar radiation and meteorological information with very high detail and accuracy. [Electronic resource]. – Mode of access <http://Solargis.info/imaps/>.
8. Koskela J. Climate change and forest genetic diversity: implications for sustainable forest managements in Europe / J. Koskela, A. Buck, E. Teissier du Cros, editor. – Rome, Bioversity International, 2007. – 111 p.
9. Matyas Cs. Modeling climate change effects with provenance test data / Cs. Matyas // Tree Physiology. – Vol. 14 (1994). – Pp. 797-804.

10. Matyas Cs. Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests / Cs. Matyas // Euphytica. – Vol. 92 (1996). – Pp. 45–54.

11. Matyas Cs. Migratory, genetic and phenetic response potential of forest tree populations facing climate change / Cs. Matyas // Acta Silv. Lign. Hung. – Vol. 2 (2006). – Pp. 33–46.

12. Schmidting R.C. Use of provenance tests to predict response to climatic change: loblolly pine and Norway spruce / R.C. Schmidting // Tree Physiology. – Vol. 14 (1994). – Pp. 805–817.

Гайда Ю.И. Географические культуры как инструмент изучения реакции лесных древесных видов на изменения климата

Обобщены современные методологические аспекты использования географических культур для прогнозирования адаптивной реакции лесных древесных видов на климатические изменения. Апробирован метод построения регрессионных моделей (функций реагирования) на примере сети географических культур дуба черешчатого 1976-1977 гг. в Украине. В качестве независимой переменной (регрессора) этих функций использовали разницу между среднегодовыми температурами воздуха, среднемесячными температурами января, июля, годовыми температурами воздуха, индексами континентальности климата Горчинского и Хромова местности заготовки семян и места их тестирования. Зависимыми переменными (регрессантами) были средняя высота, средний диаметр ствола, сохранность и запас стволовой древесины провениенций. Прогнозируется, что вероятным последствием глобального потепления (возрастание среднегодовой температуры воздуха на 4°C), может быть снижение интенсивности роста дубовых насаждений на 10-17 %.

Ключевые слова: изменение климата, географические культуры, провениенции дуба черешчатого, функции реагирования.

Hayda Yu.I. Provenance Tests as the Tool for Study of Forest Tree Species Response to Climate Change

Current methodological aspects of use of provenance tests of forest tree species to predict their adaptive response to climate change are summarized. The methods of constructing regression models (response functions) on the example of provenance trials network of common oak in Ukraine in 1976-1977 are applied. The deviation of mean annual temperature, average temperatures in January and July, the annual amplitude of air temperature, Gorchinsky's and Chromov's continental climate indexes between seed sources and planting site are used as an independent variable (regressors) of this function. Height, dbh, survival and volume (% deviation planting-source) were used as the dependent variable (regressantes). The response models predict that increasing annual mean temperatures of 4 °C may be the result in a loss of height growth of common oak of 10 -17 %.

Key words: climate change, provenance trials, seed sources of common oak, response function.

УДК 630*22 *Ст. наук. співроб. Ю.С. Штарик, д-р с.-г. наук – Прикарпатський НУ ім. Василя Стефаника; проф. В.І. Парпан, д-р біол. наук; аспір. В.І. Токар – УкрНДДГірліс, м. Івано-Франківськ*

МЕТОДОЛОГІЯ ВИДІЛЕННЯ ВОДОЗБОРІВ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

Наведено підходи до виділення водозборів для ведення лісового господарства в Українських Карпатах. Методологія базується на: аналізі параметрів водозборів різних порядків у гірських умовах для чотирьох басейнів модельних річок; класифікації водозборів для ведення лісового господарства; виділенні лісогосподарських водозборів на цифрових картах; складанні переліку лісових ділянок у межах кожного водозбору; ідентифікації лісівничих заходів для виділених лісогосподарських водозборів. Підібрані заходи дадуть змогу не зменшувати лісистість водозборів нижче науково обґрунтованих нормативів.

Ключові слова: порядок водозборів, лісистість, ухил водотоку, коефіцієнт форми, лісогосподарський водозбір, лісівничі заходи.

Погіршення водоохоронних функцій лісів нині розглядається в контексті зменшення ресурсів питної води та глобальних змін клімату. При цьому базові документи щодо спільного управління лісовими та водними ресурсами вже підготовлені в більшості країн світу [1-3]. Основою для їх прийняття стали наукові результати вчених гідрологів та лісівників, які детально описують залежності між ефективністю водоохоронних функцій лісів та їх структурою. Зокрема вони акцентують увагу на необхідності постійного лісовкриття території для оптимізації її гідрологічного режиму [4-6]. Для впровадження цих напрацювань в лісове господарство необхідно розробити рекомендації з проведення лісівничих заходів за водозборами й особливо актуальними є дані щодо гірських лісів Карпат, які формують стік багатьох річок України.

На першому етапі розробки рекомендацій проведено аналіз наукової літератури щодо методики виділення і класифікації річок та водозборів. Класифікації річок різних країн відрізняються за підходами:

1. За розміром річок: порядок потоку [7]; придатні до переходу вброд чи непридатні [8]; джерела, потоки, малі річки, середні, великі річки [9].
2. За геоморфологією та формою річищ: вигляд річища (пряме, звивисте, переплетене) [10]; морфологія річищ [11]; ширина річищ [12].
3. За параметрами води: температура води – наприклад холодна, прохолодна і тепла вода; хімічний склад води [13].

В Україні за розмірами річки поділяються на: великі (понад 50 тис. км²), середні (2-50 тис. км²), малі (менше 2 тис. км²) [14]. Існують також інші підходи до класифікації річок: за джерелами живлення (снігове, дощове, ґрунтове, підземне, льодовикове, змішаного типу); за стійкістю русла (стійкі та нестійкі); за льодовим режимом (замерзаючі, незамерзаючі). Для регіону Українських Карпат за гідрографічними особливостями виділено три ландшафтно-гідрологічні провінції: Дністровсько-Прутська в межах Передкарпатської височини; Центральнокарпатська – центральна частина Українських Карпат; Тисо-Латорицька – в межах Закарпатської низовини [15]. Щодо виділення водозбірних басейнів, їх класифікації та ведення господарства на них, то в науковій літературі однозначно підтверджено необхідність вирішення цих завдань, але переважно такі роботи мають більше академічний, ніж прикладний характер [6, 16, 17]. За результатами аналізу літератури та власними дослідженнями прийнято таку методологію з виділення водозборів для ведення лісового господарства: спочатку дають аналіз параметрів водозборів різних порядків; потім варто виділити водозбори для ведення лісового господарства і розробити їх класифікацію; насамкінець необхідно запропонувати відповідні заходи за виділеними водозборами.

Методика досліджень. Аналіз параметрів водозборів проведено за результатами їх виділення в розрізі різних порядків через створення цифрових карт відповідно до можливостей комп'ютерної програми Arcinfo. Границі водозборів проведено за відповідними елементами рельєфу (гори, русла водотоків, водорозділи) залежно від напрямку стікання води на схилах. Прируслові ділянки віднесено до сусіднього (нижчого за течією) водозбору. Більш детально методику виділення водозборів наведено в [18, 19]. Порядок водозборів класифіковано за порядком водотоку – за водозбори першого порядку було прийнято