

Н. І. БИБЛЮК¹, І. П. КОВАЛЬЧУК², О. С. МАЧУГА³

НЕБЕЗПЕЧНІ СТИХІЙНІ ЯВИЩА В КАРПАТАХ: ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

Виконано аналіз впливу природних чинників і господарської діяльності на виникнення катастрофічних повеней в Українських Карпатах та розглянуто шляхи попередження їх руйнівної дії. Подано порівняльний аналіз стану та геометричних параметрів окремих гідроспоруд на деяких ріках Чехії, Словаччини, Польщі та України. Виявлено певні закономірності між відносними геометричними параметрами гребель та водосховищ, витратою води в меженний період. На підставі аналізу результатів навантаженості гідроспоруд встановлено, що занедбаність та цілковите знищення гідроспоруд в Україні є наслідком відсутності догляду та технічної підтримки їх конструкцій. Наведено постановку задачі про взаємодію донних елементів із водою та руслом річки. Аналіз розв'язку такої задачі для часткових випадків дає змогу визначити залежність розмірів каменів, що котяться або пливають річкою під час повені, від сили течії.

¹ **Нестор Іванович БИБЛЮК** – дійсний член ЛАН України, доктор технічних наук, професор, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: +38(032) 239-27-69. E-mail: byblyuk@ukr.net

² **Іван Платонович КОВАЛЬЧУК** – професор, доктор географічних наук, завідувач кафедри геодезії та картографії Національного університету біоресурсів і природокористування України, Україна, м. Київ. Тел.: +38-050-561-38-26

³ **Олег Степанович МАЧУГА** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри лісових машин та гідравліки Національного лісотехнічного університету України, Україна, м. Львів. Тел.: +38-067-670-19-06. E-mail: oleg_mach@ukr.net

Паводки, а також селеві потоки і зсуви, які їх супроводжують, формуються в процесі поєднання гідрометеорологічних й геоморфологічних природних чинників та антропогенних чинників і завдають великої шкоди народному господарству.

Їхня інтенсивність і повторюваність зростають. Так, катастрофічний паводок 2008 р. на Передкарпатті формувалася попереднім перезволоженням і наступними надмірними опадами 22-27 липня, які за об'ємом були більшими за історичний максимум 1969 р. на Передкарпатті і 2001 р. на Закарпатті. Частота повторення катастрофічних паводків у першій половині ХХ ст. складала 14-16 років на Івано-Франківщині і 5-16 років на Закарпатті [21]. У другій половині ХХ ст. повторюваність великих паводків становила переважно один раз на 4-8 років. Паводки і повені меншої сили повторюються в окремих басейнах річок (особливо Чорного і Білого Черемошів) по 2-3 рази на рік.

До антропогенних чинників, які активізують паводки в Карпатах, належать:

зменшення напруги XVIII і початку ХІХ ст. лісистості в горах і зміна вікової та видової структур деревостанів (збільшення площі смеречників за рахунок зменшення ялицевих і букових лісів) унаслідок інтенсивного розвитку гутництва, транспорту, перероблення деревини та зниження верхньої межі лісу на 150-250 м через нераціональний випас худоби на полонинах, знищення водоохоронної лісової смуги вздовж річкових русел;

надмірні обсяги рубання деревостану в період з 1945 до 1990 рр. (у 50-ті роки у 2-3 рази понад норму) з порушенням технології лісозаготівлі (суцільне вирубування деревостанів на великих площах, нарізання густої мережі тракторних волоків на крутих схилах) і використанням ґрунторуйнівних транспортних засобів на екологічно вразливих теренах;

незадовільний технічний стан і догляд за руслами річок і потоків, дорожніми спорудами та підпірними стінками, мала пропускна спроможність мостів на місцевих і лісових дорогах (після великих паводків майже всі ці мости руйнуються), недостатня ефективність укріплених споруд, пов'язана з низьким ступенем інженерно-гідрологічного обґрунтування проектних рішень з урахуванням дуже складних місцевих умов Карпатського регіону і низькою якістю будівельних робіт.

Унаслідок екстенсивної господарської діяльності карпатська гірська екосистема зазнала істотних антропогенних змін: лісистість зменшилася майже удвічі; на більшості лісових площ складні змішані різновікові угруповання замінені вторинними одновіковими, високогірські луки перетворилися в пустища, продуктивність біогеоценологічного покриву зменшилася щонайменше на чверть, скоротилася чисельність тварин, порушився водний режим схилів і річкових русел, звичайними явищами стали паводки, зсуви та ерозія ґрунтів, вітровали і сніголами, зменшилася ґрунтозахисна, водорегулювальна, кліматоутворювальна й естетична функції гірських лісових, чагарникових і лучних екосистем [13].

Природні умови та їх вплив на виникнення ерозійно-денудаційних процесів

Геологічна будова. Українські Карпати – це частина Східних Карпат, розміщена в межах України. Ширина гірської зони близько 100 км, а довжина вздовж північно-східного краю – до 280 км. Загальна площа гір понад 24 тис. км². До Українських Карпат відносять і їх передгір'я – Передкарпатську височину та Закарпатську низовину. Це єдина в фізико-географічному аспекті область площею понад 37 тис. км².

Беручи до уваги поздовжню структурно-геоморфологічну зональність, П. Цись [14] розрізняв в Українських Карпатах сім геоморфологічних областей, з-поміж яких найнебезпечнішими щодо виникнення ерозійно-денудаційних процесів є Область Зовнішніх Карпат, Вододільно-Верховинська та Полонинсько-Чорногірська області, що відповідають Середньогірноскибовій, Міжгірноворховинській та Високо- і Середньогірно-полонинській областям (за Г. Міллером і О. Федірком) [15]. Зовнішня східна смуга Гуцульських Карпат складається з Горган (1400-1500) і Покутсько-Буковинських Карпат (700-900 м).

У Горганах поширені малостійкі та нестійкі до ерозії кам'яністі розсипища і сильноскелетні буроземисті ґрунти скелетністю 75-85 %. Природне поновлення перетворених на кам'яністі розсипища верхніх горизонтів таких ґрунтів практично неможливе [10].

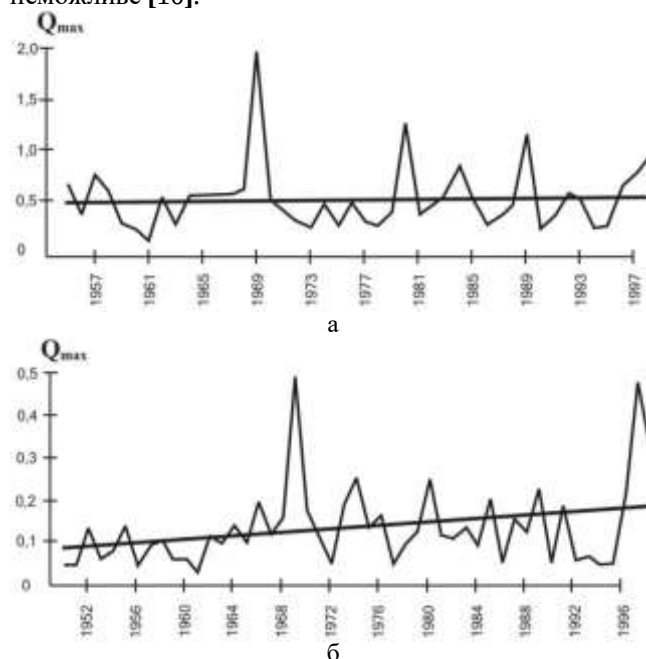


Рис. 1. Багаторічна динаміка і тренд стоку води $Q_{\max}$, тис. м³/с: а – р. Дністер (Самбір); б – р. Стрий (Верхнє Синьовидне)

Для Вододільно-Верховинської області найтипівішим є низькогірний структурно-ерозійний рельєф (600-700 м). Скельні утворення тут трапляються рідко. У геологічній будові переважають глинисті сланці, що легко розмиваються водами. У районі Привододільних Карпат, що входять до цієї області, спостерігається досить різке вертикальне розчленування і, як наслідок, – наявність кам'янистих розсипищ.

Для Полонинсько-Чорногірської області характерна висота хребтів 1030-1800 м і наявність щільних пісковиків, що зумовило значну крутість схилів (25-30 градусів) та утворення сильнокам'янистих ґрунтів.

Характерною рисою південно-східних Карпат, зумовленою її геологічною будовою, є їх високий ерозійно-денудаційний потенціал, диференційовані сучасні і неотектонічні рухи, інтенсивний розвиток ерозійно-аккумулятивних, селевих і гравітаційних процесів, їх значний вплив на гірське рельєфоутворення і формування екологічної ситуації [17].

Клімат Карпат формується у взаємодії низки чинників, головними з яких є особливості атмосферної циркуляції, географічне розташування, орографія місцевості та радіаційні умови [8].

Температурний режим характеризується відносно високими річними температурами в передгірних районах, особливо на Закарпатті, захищеному гірськими хребтами від холодних, північних вітрів. Середньорічна температура повітря тут становить 9-11°C, а на Передкарпатті – 7-8°C.

Узимку на територію Українських Карпат часто надходить тепле атлантичне повітря, і настають відлиги, особливо часті на Закарпатті. Під час відлиг можливе підвищення температури в січні до 13°C, у грудні та лютому – до 17°C. Збіг відлиг із дощем спричиняє великі руйнівні повені на Закарпатті.

Опади – один з головних метеорологічних елементів, які впливають на формування поверхневого та річкового стоку і розвитку ерозійно-аккумулятивних процесів. Карпати входять у зону найвологішого клімату України. Середня річна сума опадів тут змінюється від 600 до 1600 мм і більше [28]. Влітку на північних схилах Карпат випадає від 72 до 82 %, на південних – від 60 до 75 % річної суми опадів.

Одним із головних показників гідрологічної ролі біогеоценотичного покриву є сумарний стік з водозбірної площі. На рис. 1 подано тренд стоку води річок Дністра і Стрия за період з 1950 по 1995 р. [24].

Район найбільшої повторюваності дощів (понад 300 мм за добу) простягається смугою з південного заходу на північний схід. Опади ці мають зливовий характер і випадають переважно влітку. Так, злива (близько 300 мм) 30 серпня 1927 р. спричинила великі паводки на р. Прут та її притоках. Було зруйновано багато мостів, розмито земляне полотно залізниць і автомобільних доріг. Загальна площа, залита водою, становила 1570 км² [28].

Як видно з аналізу стоку у водозборах верхів'я Пруту, максимум його спостерігається навесні, коли переважає танення снігу. Порівняння річного розподілу атмосферних опадів і поверхневого стоку (рис. 2) показує, що в зимові місяці надходження опадів переважає над поверхневим стоком, це пов'язано із нагромадженням снігу. Навесні, коли починає танути сніг, картина змінюється на протилежну. Різницю між кількістю опадів і поверхневим стоком протягом літніх місяців можна пояснити випаровуванням і транспірацією води на площі басейну.

Змив твердих частинок ґрунту – найменший у верхів'ї басейну р. Прут до х. Завоєли, де площі річок, з яких можливе винесення (дороги, рілні землі і т.ін.),

незначні і в умовах заповідного режиму існує заборона на господарську діяльність. У частинах басейну між х. Завоєли і с. Кременіці та між с. Кременіці і м. Яремче спостерігаємо зменшення кількості опадів і стоку води [13].

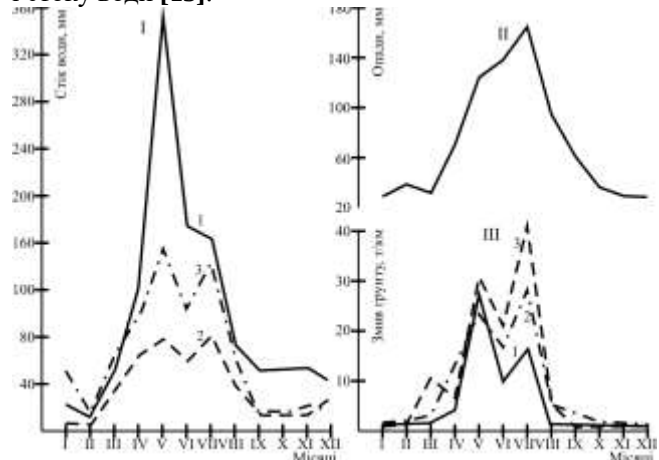


Рис. 2. Стік води (I), опади (II) і змив ґрунту (III) з водозборів верхів'я басейну р. Прут (середні дані за 1981-1985 рр.): 1 – від витоків ріки до х. Завоєли, 2 – від х. Завоєли до с. Кременіці, 3 – від с. Кременіці до м. Яремча

Річки Українських Карпат належать до басейнів Дунаю (Серет, Прут) і Дністра. Основні риси гідрографічної мережі і водного режиму річок цієї території зумовлені особливостями клімату, геологічною будовою і гідрологічними особливостями. У Карпатах протікає більше як 28 тис. річок загальною довжиною близько 55 тис. км (табл. 1).

Табл. 1. Кількість рік та їх довжина [14]

Категорії, рік	Інтервали, км	Всього		
		кількість, рік	довжина, км	%
Найменші	менше 10	27679	42210	73,3
	10-25	389	5861	10,2
Малі	26-50	68	2271	3,9
	51-100	28	1953	3,4
Середні	101-200	6	798	1,4
	201-300	1	232	0,4
	301-500	1	447	0,4
Великі	501-1500	4	3799	6,6
Всього		28176	57571	100

Густота річкової мережі досить щільна: на один квадратний кілометр у горах припадає 1,3-1,6 км (в окремих басейнах до 2,0-2,5 км) річкових русел. Ріки мають типовий гірський характер. Долини їх прямі або слабко звивисті, біля витоків утворюють глибокі ущелини з вузьким дном (1-3 м), ширина долин невелика (від 50-80 м до 2,0 км), схили круті або дуже круті, висотою 60-100 м. Заплави річок вузькі (50-200 м), часом зовсім відсутні, під час паводків затоплюються на 1-5 днів шаром води 0,4-5,0 м. Річки протікають у вузьких руслах, швидкість течії різна – від 1,0-1,5 до 3-6 м/с, а в передгір'ях від 0,5 до 2-3 м/с під час паводків.

Для гірських річок Карпат характерне раптове виникнення паводків. За відносно невеликих витрат води в межах (1-2 м³/с) паводки в 100 і більше разів перевищують ці витрати. Перехід річки з одного стану в інший відбувається швидко – протягом кількох годин. Якщо врахувати поєднання загічування русла

камінням, деревами і корчами з раптовим виникненням паводки, то неважко передбачити величину руйнувань, можливих у руслі річки після прориву природно виниклих загат [19].

Небезпечні стихійні явища та їх причини

Паводки. У Карпатах паводки залежать від некерованих і важкопрогнозованих умов, завдають значних збитків господарству і поки що залишаються стихійним лихом [9].

Перші згадки про великі паводки на Карпатських ріках стосуються 1164-го і 1230-го рр. У літературних джерелах є згадки про катастрофічні паводки в 1649-му, 1668, 1700 і 1730 рр., під час яких затоплено населені пункти, поля, луки, топилися люди і худоба.

Найвищими були зливи паводки на річках північно-східних схилів Карпатських гір у 1911-му, 1927, 1941, 1955, 1969, 1979 рр., а на річках Закарпаття – паводки змішаного походження в 1926, 1947-1948, 1970, 1992 і 1998 рр. [9].

У Північно-Східних Карпатах особливо великими були паводки 30-31 серпня 1927 р. на річках Бистриця Солотвинська, Бистриця Надвірнянська, Черемош, Серет та у верхів'ях Пруту. Причиною їх були зливи дощів, які випали на північно-східних схилах Карпат. Величина опадів сягала 300 мм. Потоками води було зруйновано житлові і промислові будівлі, багато автомобільних доріг і залізниць, мостів і телефонних ліній.

Високі паводки були в басейні Тиси 29-31 грудня 1947-го і 8-9 січня 1948 років, які сформувалися внаслідок різкого потепління (температура повітря піднялася від -14°C до +12°C) і випадання інтенсивних дощів (добова сума опадів досягла 130 мм). Так, 29 грудня в Рахові випало 134 мм, а сума опадів за період з 28 по 30 грудня становила 255 мм. Дощі спричинили інтенсивне танення снігу, висота якого в середньому сягала 50 см.

Паводки зруйнували автомобільні дороги і залізниці, мости через Тису, п'ятикілометрову захисну дамбу, частково затоплено м. Хуст, багато сіл та угідь. На схилах гір інтенсивно розвивалась ерозія, а зсувами і обвалами зруйновано житлові будівлі в гірських селах.

Небувалий зливовий паводок був у 1969 р. Дощі над західними областями України почалися 2-3 червня, через дві доби рівень води у верхів'ях гірських річок піднявся на 2 м. Винятково сильні зливи спостерігали 7-10 червня, за ці дні кількість опадів перевищила місячну норму.

Найвищий рівень води на річках спостерігався в гірській частині 8 червня – 4 м, а на передгірних ділянках 9 і 10 червня – 6 м. За даними Львівської гідрометеослужби, рівень води в окремих річках перевищив історичні максимуми: у Бистриці Солотвинській (біля Івано-Франківська) – на 250 см, у Дністрі (біля с. Нижнів) на 141 см, у Пруті (біля м. Яремча) – на 151 см, а біля Чернівців – на 270 см [19]. Унаслідок виникнення паводка затоплено багато населених пунктів, ферм, значні площі сільськогосподарських земель, зруйновано залізниці та автомобільні дороги, мости, високовольтні лінії електропередачі, газоводи і лінії зв'язку.

У басейні річок Тиси і Серету великі дощові паводки пройшли 12-18 травня 1970 р. Кількість опадів у два-три рази перевищила місячну норму і становила 150-200 мм. Паводки завдали великої шкоди Закарпаттю. Було зруйновано багато житлових

будинків, мостів, сотні кілометрів автомобільних доріг та лінії електропередачі.

Особливо великих збитків господарству, що перевищили всі попередні, завдав катастрофічний паводок у листопаді 1998 р. на Закарпатті. Його особливістю став інтенсивний корчехід у верхів'ях річок Чорної, Білої Тиси, Кісви, Шопурки та інших, що значно збільшило руйнівну силу потоку. Розмив берегів спричинив інтенсивне руйнування автомобільних доріг і будівель. Значної шкоди господарству Закарпаття завдав також паводок 3-7 березня 2001 р. Окрім зруйнованих значних відтинків доріг, гідротехнічних споруд і будівель було замулено алювіальними відкладами великі площі заплавлених сільськогосподарських угідь.

Головною причиною катастрофічного паводку, який стався 22-27 липня 2008 р. в шести західних областях України і особливо на Передкарпатті, була надмірна кількість опадів і накладання піків паводків, які підсилювались антропогенними чинниками. За даними обласних гідрометеорологічних центрів, 22-27 липня 2008 р. у Карпатському регіоні сума опадів місцями сягала трьох місячних норм. У Львівській області вона становила 65-177 мм, а місцями 195-344 мм, або 72-275 % місячної норми, в Івано-Франківській – відповідно 161-351 мм, або 155-240 %, у Чернівецькій – 228-298 мм, або понад 200 %, у Закарпатській – 165 мм або 125 %. Окрім цього, лісові масиви у передпаводковий період були насичені вологою. За спостереженнями на стаціонарі "Хрипелів" Інституту гірського лісівництва 15-20 липня випало 69 мм опадів, через що перед паводком екосистема смерекового лісу була на 86 % насичена вологою. Наступні зливи 22-27 липня, сумарною величиною 312 мм (2,1 рази понад місячну норму), сформували сильний паводок. Витрати на схисловий стік становили до 80-90 % атмосферної вологи. У цій ситуації здатність до зменшення паводкового стоку була зведена до мінімуму. Попереднє зволоження та надмірні зливи опадів 22-27 липня загалом у 3-5 разів перевищили потенційну водорегулювально-захисну роль лісу. Паводок призвів затоплення передгірної і рівнинної частин Передкарпаття, знищення майна громадян та комунікаційно-дорожньої інфраструктури [21, 12].

На формування паводкового стоку значний вплив мають морфометричні характеристики водозбору і особливості підстильної поверхні: лісистість і заболоченість басейну, насиченість його озерами і ставками. Вилив лісу, боліт, озер, водосховищ і ставків поєднується з дією деяких інших чинників: геологічними і морфологічними особливостями водозбору, характером ґрунтів, рельєфом тощо. Через це оцінка впливу одного з чинників є складною і умовною [17]. Крім цього, паводки часто супроводжують загрозливі вторинні процеси (зсуви, осипи, селеві потоки тощо), на усунення яких доводиться витрачати багато зусиль та коштів.

Бурхливому характеру паводків, які спостерігаються останніми роками на гірських річках Карпат навіть за незначних опадів, сприяють: знищення водоохоронної лісової смуги вздовж річкових русел та захисної лісової смуги у високогірному (субальпійському поясі) на межі з полонинами; винесення в річки кам'яноуламкового матеріалу осипів, зсувів та обвалів з оголених схилів

та велика захаращеність річок залишками деревини, які зумовлюють виникнення заторів та штучне збільшення рівнів води в річках під час паводків; невелика потужність ґрунтових профілів і низька їх водоутримувальна здатність; значна вертикальна і горизонтальна розчленованість рельєфу.

Утворенню заторів на річках сприяє також мала пропускна спроможність мостів на місцевих і лісових дорогах. Тому під час великих літніх паводків майже всі ці мости руйнуються. Після прориву заторів, утворених змитим матеріалом, потік набуває великої руйнівної сили, а після виходу з гір на рівнину затоплює і замулює сільськогосподарські угіддя.

Селі – це тимчасові потоки, які рухаються дном водотоку, балки або яру і характеризуються високим вмістом твердого матеріалу. Залежно від складу селевої маси, вмісту твердого матеріалу, від структури потоку і його транспортувальної здатності розрізняють муло-кам'яні, водно-кам'яні та інші типи селевих потоків [9].

Селеві явища посилюються в Українських Карпатах упродовж останніх десятиріч. Серед природних чинників, які зумовлюють селеві явища у Карпатах, виділяють: велику розчленованість басейнів гірських річок, значне поглиблення русел, наявність крутих схилів, слабку денудаційну стійкість флішових товщ, значну потужність пухкого матеріалу на схилах гір, поширення безлісних площ, великий поверхневий стік.

Селеві явища в Українських Карпатах мають регіональні особливості. Найнебезпечнішим вважають Свидовицько-Горганський регіон, де розвинені водно-кам'яні і буро-кам'яні потоки. Живлення їх посилюється обвалью-осипними схилами, а в конусах виносу великоуламковий матеріал з флішових пісковиків досягає в діаметрі 2-3 м.

Провідне значення у формуванні селів як у кожному селевому районі, так і на всій території

Українських Карпат, відіграє транспортний процес, на який припадає 65 % усіх випадків селеутворення. Найсприятливіші умови для формування селів виявлено у Верхньопрутсько-Черемоському і Білочеремосько-Путильському селевих районах, частина яких розташована в горах Ворохта-Путильської Верховини і в найвищій частині Карпат – Чорногорі. Тут рельєф характеризується різкими формами, глибоко врізаними долинами і крутими схилами, що, своєю чергою, зумовлює значні ухили селевих русел.

Зсуви. Зсувні процеси поширені в гірських долинах: у Передкарпатті (Південне Покуття, Серето-Прутське межиріччя, Буковинське передгір'я, Лімницько-Бистрицьке межиріччя), а також у Солотвинській (Верхньотисинській) улоговині. Вони завдають великої шкоди автомобільним дорогам та іншим спорудам [9].

На утворення зсувів великий вплив мають кліматичні чинники, насамперед атмосферні опади та сейсмічна активність. Особливо сприяють цьому сильні зливи, які охоплюють великі території. На гірських схилах під час злив формується інтенсивний поверхневий стік, унаслідок якого з особливою силою проявляються зсуви і селі.

Сейсмічність Українських Карпат зумовлена землетрусами, які генеруються в межах глибокофокусних (від 100 км до 180 км) підірних епіцентрів, розміщених на стику Східних і Південних Карпат на території Румунії (масив Вранча), а також епіцентрів, які розміщені в Закарпатті і на суміжних з ним територіях Чехії, Словаччини, Угорщини, Румунії.

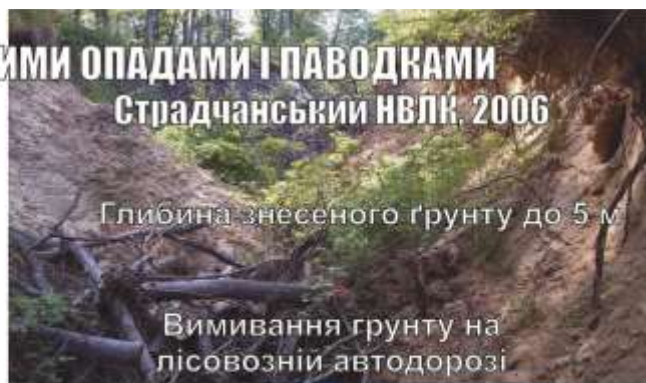
Найсильніші з відомих Вранчевських землетрусів із значним макросейсмічним ефектом в Українських Карпатах на прилеглих територіях сталися у 1738, 1802, 1829, 1898, 1908, 1912, 1934, 1940, 1977, 1986, 1990 рр.



РУЙНУВАННЯ ДОРІГ НАДМІРНИМИ ОПАДАМИ І ПАВОДКАМИ
ДП Рахівське ЛГ, 1995

Глибина знесеного ґрунту до 3 м

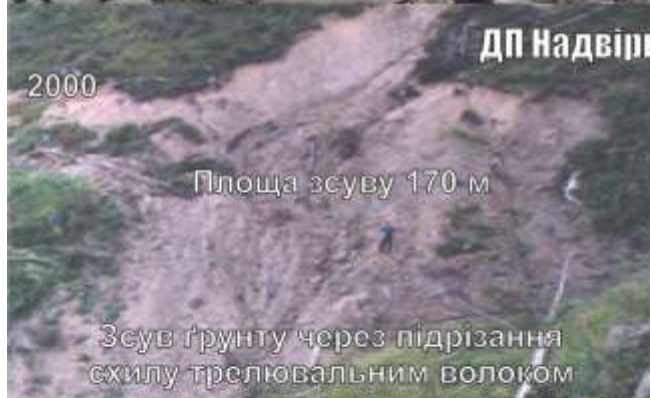
Утворення нового потокового русла на трельовальному волоці



Страдчанський НВЛК, 2006

Глибина знесеного ґрунту до 5 м

Вимивання ґрунту на пісовозній автодорозі

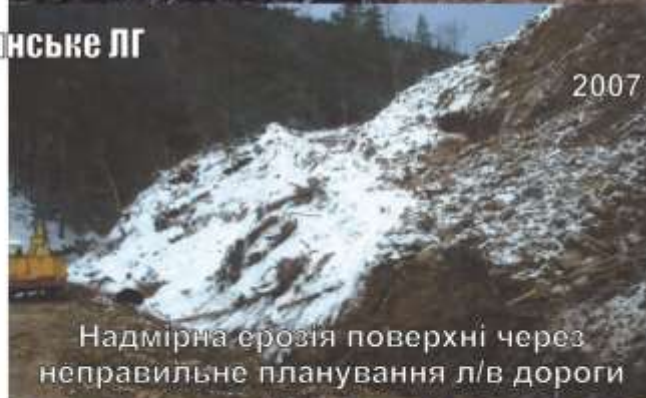


ДП Надвірнянське ЛГ

2000

Площа зсуву 170 м

Зсув ґрунту через підрізання схилу трельовальним волоком



2007

Надмірна ерозія поверхні через неправильне планування л/в дороги



ДП Сколівський ДЛГ, 2008

Зсув земляного полотна



Руїнування дороги



ДП Славський ДЛГ, 2008

Зсув земляного полотна



Руїнування дороги



**Автодорога В.Бичків -
Кобилецька Поляна, 1998**

Розмивання укосу земляного полотна через недостатню міцність укріплених споруд



Автодорога Косів - Буківець, 2008

Руїнування дороги в зоні водопропускної труби



ВІДНОВЛЕННЯ БЕРЕГОВОЇ ОПОРИ І МОСТІВ ДП Сколівське ЛГ, 2008

Розчищення русла



Укріплення земляного полотна



ДП Славське ЛГ, 2008

Укріплення берегової опори



Відновлення моста



Ріка Чорна Тиса, 2000

Укріплення земляного полотна кам'яним накидом



Ріка Стрий (с. Ямельниця), 2008



Нові лісовозні дороги



Відновлені мости



ВОДРЕГУЛЮВАЛЬНІ СПОРУДИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЄВРОПИ



Гребля Соуш на р. Біла Десна в Чехії



Водорегулювальна дамба на р. Ізера в Чехії (с. Мала Скала)



Водорегулювальна гребля на р. Ізера в Чехії (с. Сплзов)



Водорегулювальна гребля на р. Каменіца в Чехії (с. Вельке Гамри)



Протипаводкова гребля на р. Слатіна в Словаччині (м. Зволен)



Водозабірна гребля на р. Грон у Словаччині (с. Подбресова)



Випускний шлюз мініГЕС на р. Попрад у Словаччині (м. Кежмарок)



Берегоукріплення потоку Бистриця в Словаччині (м. Банська Бистриця)



Декоративна гребля на р. Каменна в Карконошах (м. Шклярська Поремба)



Декоративна гребля на р. Бистра (м. Закопане)

ГРЕБЛІ НА РІКАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ



Гребля на р. Рибниця
(с. Город поблизу м. Косів)



Залишки греблі на
р. Рибниця (м. Косів)



Захисна дамба 1 (м. Косів)



Захисна дамба 2 (м. Косів)



Русло Монастирського потоку
(м. Косів)



Залишки греблі малої ГЕС на
р. Білий Черемош (с. Яблуниця, 2007)



Водозабірна гребля на р. Свіча
(м. Вигода)



Залишки клявзи Маріїн на
р. Білий Черемош (2007)



Залишки клявзи Керничний на
р. Чорний Черемош (2007)



Залишки клявзи Шибени 1 на
одноіменному потоці (2007)

Інтенсивність деяких за макроефектом оцінюють величиною від 5 до 8 балів [14].

Сейсмічна дія безпосередньо впливає на розвиток екзогенних геологічних, а найперше силових гравітаційних процесів. Зсуви та обвали відбувалися безпосередньо під час землетрусу, також пізніше через певний час (до одного року).

Інший чинник, що спричиняється до зсувів, це суцільне вирубування лісу на гірських схилах та будівництво лісовозних доріг, що спричиняє підрізання схилу, природна стійкість якого у цьому разі порушується. Схили відшаровуються на величину 1,5-3 м, а делювіальні відклади обвалюються до їх підніжжя.

На рис. 3 наведено залежності між величинами площі зсуву, об'ємом зсуву та кутом укосу схилів на ділянках утворення зсувів на території Закарпатської області. Спостерігається тенденція до збільшення площі та об'єму зсувних мас із зменшенням кута нахилу [14]. Зсувні явища поширені в гірських долинах у Передкарпатті (Південне Покуття, Серето-Прутське межиріччя, Буковинське передгір'я, Ломницько-Бистрицьке межиріччя), а також у Солотвинській (Верхньотисинській) улоговині. Вони завдають великої шкоди автомобільним дорогам та іншим інженерним спорудам.

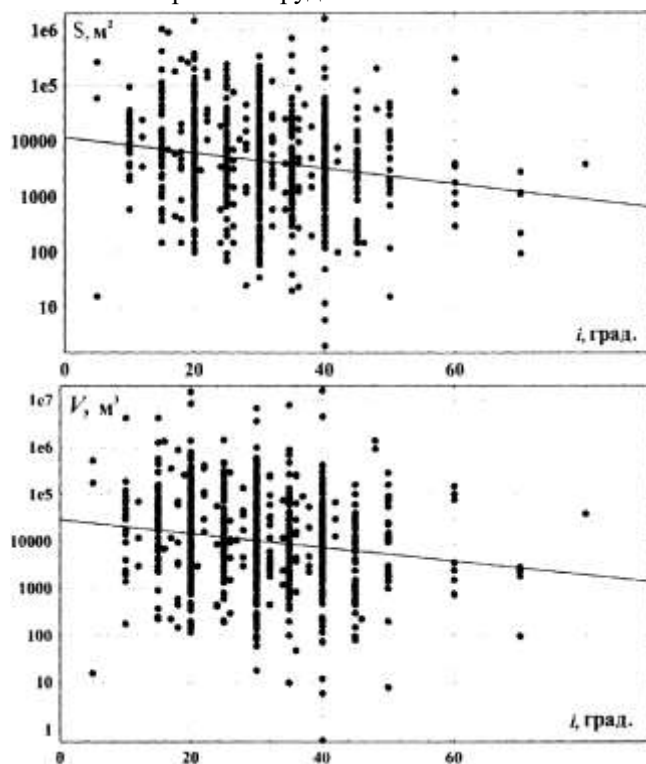


Рис. 3. Графік залежності площі S та об'єму V зсуву від кута нахилу схилу

Обвальо-осипні процеси поширені в найвищій частині Українських Карпат. У Горганах і Свидовецько-Чорногорській групі вони приурочені до крутих схилів (від 30° до 40°), де відшаровуються масивні ямненські і вигодські палеогенові пісковики, а також пісковики крейдової стрийської, шипотської, чорногірської, скупівської та інших світ.

Поширення кам'яних розсипів і осипів особливо посилює обвальо-осипні процеси в місцях лісовирубування, на таких схилах відновлення лісового покриву стає неможливим. Розміри

уламкового матеріалу в кам'яних осипах змінюються від 0,5 до 15,0 см. У долинах Свидовецької гірської групи осипні процеси є причиною виникнення селів.

Обвали трапляються порівняно рідше (долини Пруту, Бистриці Надвірнянської, гірської Тиси).

Активний розвиток зсувних процесів у південно-східній частині Карпат зумовив потребу пошуку шляхів запобігання екстремальному прояву зсувів, обґрунтування протизсувних заходів.

З огляду на це, варто зазначити, що невідкладні заходи щодо стабілізації зсуву можна звести до впорядкування поверхневого стоку в межах тіла зсуву та проведення дренажних робіт. Капітальні заходи щодо стабілізації зсуву потрібно зводити до планувальних робіт та лісомеліорації в комплексі з будівництвом водовідвідних інженерних споруд.

Вплив господарської діяльності на довкілля та способи його зменшення

Головними видами впливу людини на річки Карпат та їх басейни є забір з русел і заплав алювіальних відкладів, будівництво різноманітних гідротехнічних споруд (ГЕС, мостів, переходів ЛЕП і трубопроводів, захисних споруд – дамб, берегоукріплень тощо), а також землеробська, лісгосподарська діяльність, меліорація заболочених та перезволожених угідь, поселенське, промислове будівництво, рекреація, розвиток тваринництва [17].

Неконтрольоване забирання руслових відкладів веде до порушення поверхневого шару річища (шару самотікання) і зумовлює стрімке зниження ступеня стійкості русла до розвитку ерозійних процесів. Зокрема, активізується регресивна ерозія, зростає швидкість переформування руслового рельєфу.



Рис. 4. Поперечні профілі русла р. Бистриця Надвірнянська (м. Івано-Франківськ) станом на 1960, 1972, 1974, 1978, 1981, 1985 і 1988 рр.

На р. Бистриця Надвірнянська за 20 років площа поперечного перетину русла в окремих місцях збільшилася майже в 10 разів, насамперед через вертикальні деформації, а біля с. Пнів річище поглибилося майже на 4,5 м (рис. 4). Останніми роками біля м. Івано-Франківська вертикальні деформації русла змінилися горизонтальними, що зумовило потребу виконання цілого спектра берегоукріплювальних робіт.

Це ж явище спостережено й на інших річках, зокрема Бистриці Солотвинській та в басейнах річок Прут, Тиса, Черемош.

Будівництво доріг. Важливим чинником, що впливає на виникнення зсувних процесів, є будівництво доріг. Під час будівництва лісовозних доріг безпосередньо в руслах потоків, часом біля самого підніжжя схилів, здійснюють їх підрізання. При цьому природна стійкість схилу порушується і він відступає на 1,5-3,0 і більше метрів, а делювіальні відклади обвалюються до їх підніжжя. У період розмерзання снігів чи затяжних дощів перезволожений ґрунт під дією сили тяжіння сповзає до підніжжя схилів. Такі опливні процеси найчастіше спостерігаються в басейнах Черемоша, Тиси і Пруту. Там, де немає протизсувних споруд, руйнівна активізація колись стабілізованих зсувів, особливо в осінньо-зимовий і весняний періоди, виникає і на автомобільних дорогах та залізницях. У районі с. В. Бичків через 1-2 роки після будівництва залізниці активізували колись стабілізовані зсуви, що призвело до великих додаткових матеріальних збитків. У місцях зсувів під час будівництва схил підрізли на висоту від 3 до 15 м, а протизсувних споруд збудовано не було. Зсуви такого ж характеру сталися у верхів'ях рік Білого і Чорного Черемошів [9].

Будівництво лісових доріг також істотно підвищує вітронебезпечну ситуацію. Внаслідок будівництва доріг руйнується цілість лісового намету і відкривається стіна деревостану назустріч підвищеному тиску маси повітря. Тобто, формується нове метеорологічне середовище, до умов якого лісовий масив біологічно не пристосований. Шляхом порівняння відносних показників щорічного збільшення доріг і вітровалів на одну тисячу гектарів для умов Надвірнянського держлісгоспу І. Калущий довів, що зі збільшенням будівництва доріг зростає кількість і площа вітровалів. У цій проблемі є й інший аспект – збільшення довжини доріг для розроблення нових вітровальних площ. Виходячи з цього, дороги треба прокладати вздовж вітровалостійких деревостанів і заздалегідь відповідними лісгосподарськими заходами підвищувати вітровалостійкість тих деревостанів, попри які або через які буде прокладатися траса дороги. Місце прокладання нових доріг для розроблення вітровалів має визначатися шляхом науково обґрунтованого прогнозування вітровальності наявних деревостанів [16].

Лісове господарство. Найважливішим структурним компонентом, що стабілізує довкілля в протирозійному аспекті, є ліси. Вони мають здатність перехоплювати і трансформувати частину атмосферних опадів, регулювати нагромадження і танення снігу, підвищувати фільтраційні властивості ґрунтів, завдяки чому істотно поліпшується гідрологічний режим гірських схилів і річок. Сформований лісовий покрив з переважанням смереки здатний у середньому затримати за рік на кронах 29-30 %, на букових 26-28 % твердих і рідких опадів. Решта надходить під намет лісу в глибокі горизонти ґрунтів і далі у річкову систему. Однак водорегулювальні і ґрунтозахисні властивості гірських лісів погіршилися внаслідок тривалого інтенсивного господарського втручання людини у природу [20].

Значне зменшення лісистості почалося від середини XVIII ст. з верхніх частин схилів гір внаслідок руйнування верхньої границі лісу для

розширення площ високогірних пасовищ та шкідливого для лісових екосистем використання лісових угідь як пасовищ та кошарування худоби в приполонинних лісах. Зменшенню лісистості також сприяло вирубування лісу в басейнах річок для збільшення рілних земель та поселенських зон. За даними С. Стойка [27], водорегулювальна здатність одного гектара приполонинного лісу дорівнює такій здатності 10 гектарів лісу, розташованого на нижчих гіпсометричних рівнях, а підвищення лісистості у водозбірних басейнах на 1 % збільшує середньорічний стік води на 9-12 мм.

Унаслідок широкомасштабного вирубування лісів лісистість Карпат знизилася приблизно в 1,5 раза, змінився гідрологічний режим території [20].

Найнегативніше впливає на режим стоку гірських потоків суцільне рубання лісу, менше – поступове і особливо вибіркове рубання. Так, після здійснення поступового рубання зміни стоку води вдвічі менші, а після вибіркового – у 10 разів менші, ніж на контролі. Під впливом суцільного рубання різко зростає змив ґрунту, внаслідок чого твердий стік потічків і річок збільшується в 10 разів. Тому впорядкування системи головного рубання є нагальним завданням. Важливе значення має своєчасне і правильне очищення лісосік від порубкових залишків, особливо недопущення їх концентрації в руслах постійних і тимчасових потоків, оскільки вони призводять до інтенсифікації паводків, збільшують їхню руйнівну силу, сприяють селеутворенню. Встановлено, що під час руйнівних паводків у річках водозбору, які були захащені лісосічними залишками, обсяг переміщеного піщаного та гравійного матеріалу із деревиною становив близько 150 м³, а в руслах без таких залишків – обсяг твердих відкладів у 10-15 разів менший [20].

Вирубування лісу зумовлює докорінну зміну біоєкологічної і метеорологічної ситуації на порушених, а також на прилеглих територіях. Це сприяє підвищенню вітровалонебезпечності деревостанів, що є в зоні впливу рубання, а в разі вітровальних ситуацій – пришвидшує їх поширення. За даними І. Калущого [16], у зоні впливу суцільного рубання вітровалонебезпечність підвищується в 1,3 раза, що сприяє виникненню вітровалів. Прогідне рубання і прорідження, здійснені безпосередньо перед виникненням вітровалонебезпечної ситуації, пришвидшують їх виникнення і сприяють збільшенню масштабів негативних наслідків.

Лісотранспортні засоби. Значний негативний вплив на виникнення ерозійно-денудаційних процесів створює транспортування зрубанної деревини. Інтенсивність пошкодження опорної поверхні внаслідок трелювання деревини залежить від фізико-механічних характеристик ґрунту, технології робіт, погодних умов та особливостей конструкції рушія трелювальної машини. Найбільше пошкодження лісового середовища (ґрунту, підросту, деревостанів) є характерним для наземного транспортування деревини у разі застосування як гусеничних, так і колісних трелювальних тракторів, що пересуваються елементарно влаштованими проїздами (трелювальними волоками). У цьому разі, крім технічних чинників, на величину пошкодження істотно впливає рівень організації лісосічних робіт.

Найбільший обсяг ґрунтової ерозії (орієнтовно 70-80 %) припадає на знесення ґрунту під час створення волоків, які після закінчення лісосічних робіт дуже вразливі до подальших ерозійних процесів. За будь-яких обставин, влаштування первинних шляхів транспортування деревини (тракторних трельовальних волоків) як у разі гусеничного, так і колісного трельовання спричиняє формування значних обсягів експлуатаційної ерозії (рис. 5).

Втрати ґрунту зростають із збільшенням крутості схилу з 15...20° до 31...40° у 2 рази (на кожних 10° для тракторних доріг на 0,5 м³, для магістральних на 2 м³), зі збільшенням довжини лісосіки з 100...200 до 200...400 м у 2,5 рази, понад 400 м у 3,0...3,5 рази; зменшуються на ввігнутих і північних схилах у 1,2...2,0 рази.

У виборі технічних засобів для транспортування деревини в гірських лісах потрібно виходити з умови забезпечення прийняттого рівня екологічних пошкоджень [2]:

- номінальний тиск рушія на ґрунтову поверхню повинен відповідати тримальній здатності ґрунту;
- допускає глибина колії не повинна перевищувати екологічно прийнятну межу (10 см);
- допускає кількість проїздів машини потрібно узгоджувати з біологічною межею ущільнення (порогове значення щільності для проростання насіння певної породи – 1,3-17 г/см³).

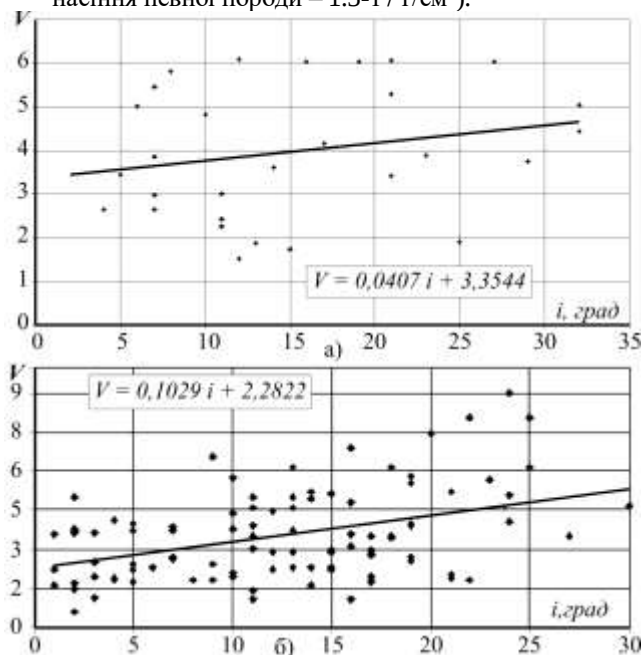


Рис. 5. Залежність об'єму знесеного ґрунту внаслідок прокладання і експлуатації магістральних трельовальних волоків від крутості схилу (Горгани): а – тракторні дороги; б – магістральні волоки

Під час обґрунтування технологічного процесу лісозаготівлі треба виходити з раціонального поєднання різних типів спеціальної лісової техніки для конкретних природно-виробничих умов, з обов'язковим попереднім облаштуванням розгалуженої мережі автомобільних доріг у лісовому фонді та забезпеченням оптимальних відстаней первинного транспортування деревини.

Одним із головних способів зменшення негативного впливу первинного транспорту деревини на лісове середовище є використання на стрімких

схилах ливових лісотранспортних систем. Сучасний стан розвитку первинного лісотранспорту в Карпатах вимагає подальшого здійснення організаційно-технічних і фінансово-економічних заходів та вдосконалення нормативно-законодавчої бази для забезпечення екологізації лісочислення.

Водорегульовальне значення річкових гідроспоруд

Збільшення частоти та інтенсивності руйнівних паводків і паводків на гірських ріках спонукають до аналізу стану гідроспоруд, які є вагомими чинниками водорегулювання. Гідроспоруди повинні мати значний запас міцності, стійкості до циклічних навантажень під час паводків протягом великих проміжків часу, оскільки їх руйнування може призвести до значної шкоди довкіллю, народному господарству і навіть до людських жертв. Прямі збитки внаслідок руйнування під час паводків автомобільних доріг, мостів та інших споруд в гірських районах, становлять 20-30 % від суми вартості будівництва відповідних укріплених гідроспоруд, а непрямі – набагато перевищують такі показники [7]. Потрібно постійно вдосконалювати методику розрахунку берегоукріплень та гідроспоруд з використанням європейського досвіду та методів технічної гідромеханіки. Впровадження вдосконаленої методики під час проектування та будівництва нових споруд сприятиме зменшенню негативного впливу паводків гірських річок на довкілля.

Порівняльний аналіз стану окремих гідроспоруд гірських річок центральної Європи. Найважливішою функцією гідроспоруд гірських рік є водорегулювання стоку шляхом сповільнення течії в зоні водосховища. Іншими важливими функціями є водозбір, лісосплав, відбір електроенергії, берегоукріплення тощо. Реалізація таких функцій дає вагомий результат у разі створення замість поодиноких гідроспоруд на окремій річці системи гідроспоруд чи каскаду гребель в басейні ріки. Системний підхід до будівництва гідроспоруд дає змогу уникати критичного збільшення швидкості течії на гірських річках під час паводків, сприяє зменшенню руслової деформації.

На рис. 6 наведено схему розташування найбільших гідроспоруд (Vodni Dilov) на потоках у околицях Ізерських гір та Кроконошів у Чехії в басейнах рік Лужицька Ниса та Ізера з притокою Каменіца, із зазначенням паводкових зон. Найбільшу з гребель – Соуш на річці Чорна Десна, споруджено в 1912-1915 рр. з метою водорегулювання. Допоміжними функціями є водопостачання міст Танвальд та Яблониця над Нисою, виробництво електроенергії та рекреація.

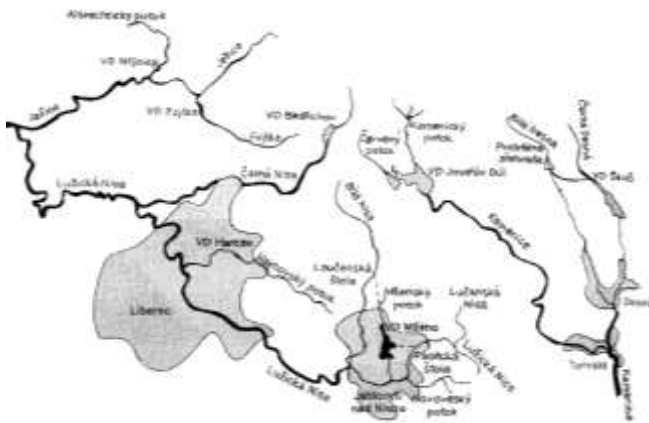


Рис. 6. Схема розміщення водозахисних споруд в Ізерських горах (Чеська Республіка)

Насиченість річок басейну Ізери гідроспорудами забезпечує системний підхід до захисту берегів від руслової деформації. Водорегулювальні греблі поблизу міст Мала Скала та Сплзов на Ізері, Вельке Гамри та Танвальд на річці Каменіца виконують свої функції в автоматичному режимі та перебувають у відносно задовільному стані.

У Високих та Низьких Татрах у Словаччині є чимало гірських озер та річок, забезпечених відповідними дамбами та греблями. Поряд із водорегулюванням такі комплекси призначено для водозабезпечення місцевої, зокрема металургійної промисловості, виробництва електроенергії.

Підтримання задовільного технічного стану гідроспоруд різноманітного функційного призначення характерні для гірських районів Польщі, зокрема для каскаду гребель на річці Каменна в Карконошах поблизу містечка Шклярська Поремба: захисних підпірних стін, водозбірної греблі з водогоном, міської декоративної водорегулювальної дамби, гребель трубних МГЕС "Шклярська Поремба 2" та "Шклярська Поремба 1". Інформацію про гідроспоруди Гданського регіону Польщі подано у праці [29]. Відзначимо, як приклад, використання річкових русел у парково-ландшафтному господарстві Польщі в поєднанні з берегоукріпленням, локальну водозбірну греблю та берегоукріплення міської річки Бистра у м. Закопане.

Гідроенергетичний комплекс гірської Сербії характеризується греблями із значним перепадом висот між верхніми та нижніми б'єфами, великими об'ємами водосховищ. Фундаментальні конструкції гребель виконано зі значним запасом стійкості та здатністю до акумулювання води під час паводків, що забезпечує зменшення швидкості потоків та захисту річок від руслової деформації.



Рис. 7. Схема розміщення лісосплавних гребель у басейні р. Черемош (1-ша пол. XX ст.)

Стан гідроспоруд в Українських Карпатах відрізняється занедбаністю або повним знищенням. За даними [26], до 1964 р. в Івано-Франківській області працювало 16 енергетичних установок з відповідними гідроспорудами, крім цього, було багато млинів, тартаків, водяних кузень, сукновалень, олієнь, валил тощо [11, 23]. У 1946-1950 рр. збудовано понад 40 сільських гідроелектростанцій у всьому Карпатському регіоні, греблі яких разом з передвоєнними гідроспорудами певним чином виконували водорегулювання гірських річок. У 70-90-х рр. XX ст. головну функцію гребель – виробництво електроенергії, гідропривід млинів, тартаків тощо було визнано неперспективною; відповідні виробництва закривалися, гідроспоруди занепадали та руйнувалися. При цьому іншу вагому функцію гребель – водорегулювання не бралось до уваги. Попри це, під час створення захисних протипаводкових дамб частина гребель була зруйнована, зокрема греблі Рожнівської та Рудниківської МГЕС на річці Рибниця.

Система лісосплавних гребель та гідроспоруд – клявз, гамованок тощо [3] (рис. 7) сприяла водорегулюванню гірських річок. Після припинення лісосплаву технічний стан цих споруд не підтримували, а недовговічність головних елементів гребель, виготовлених з дерев'яних зрубів пришвидшила їх руйнування.

На місці цих гідроспоруд доцільно будувати нові греблі, призначені для водорегулювання течії гірських потоків, і водночас для виробництва електроенергії та для інших господарських потреб.

Параметри гідроспоруд та водосховищ. Розділимо вплив водосховища на гідроспоруду на статичний, пов'язаний із об'ємом води водосховища, та динамічний, пов'язаний із витратою води як в меженний період, так і під час паводків. З використанням натурних спостережень і математичних співвідношень [5, 24], для наведених

вище гідроспоруд отримано параметри відносного статичного навантаження – відношення об'єму водосховища $V_{\text{вд}}$ до об'єму греблі $V_{\text{г}}$ та відносного динамічного навантаження в меженний період – відношення витрати води Q до об'єму греблі (рис. 8) залежно від об'єму водосховища. Наведені дані засвідчують, що малі гідроспоруди зазнають значно меншого відносного статичного навантаження порівняно з середніми та великими: зі збільшенням об'єму водосховища його відносне статичне навантаження на греблю посилюється, тому для забезпечення довготривалої експлуатації великих та середніх гідроспоруд потрібно їх виконувати як капітальні споруди із ґрунтовним аналізом конструкції.

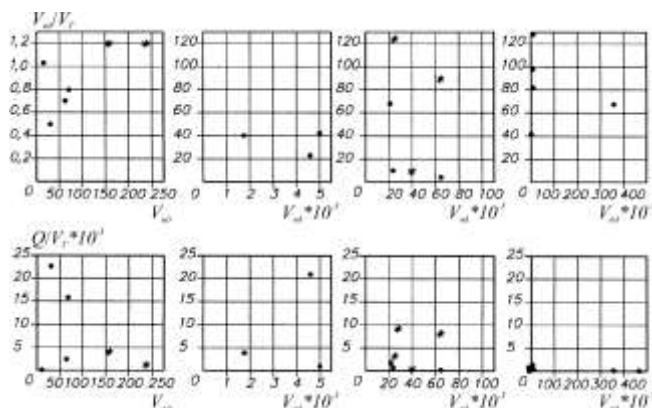


Рис. 8. Параметри відносного статичного ($V_{\text{вд}}/V_{\text{г}}$) та динамічного ($Q/V_{\text{г}}$) навантаження гідроспоруд залежно від об'єму водосховища: зірочкою зазначено гідроспоруди в Україні, крапками – у Центральній Європі

Значення параметрів статичного навантаження гідроспоруд в Україні, розглянутих у цьому викладі, незначно перевищують аналогічні величини для гребель у Центральній Європі, що підтверджує належну обґрунтованість їх проектів. Статичне навантаження типової греблі (кляузи) є меншим за навантаження подібних за об'ємом гребель за кордоном. Зanedбаність та руйнація вітчизняних гідроспоруд є насамперед наслідком відсутності догляду та технічної підтримки їх конструкцій.

Параметри відносного динамічного навантаження гідроспоруд мають тенденцію до зменшення із зростанням об'єму водосховища: чим більший об'єм гідроспоруди, тим вона менш "чутлива" до витрати води в річці. За таких обставин малі греблі, відносне статичне навантаження на які невелике, зазнають вагомих відносних динамічних навантажень навіть у меженний період. Тому їх конфігурація повинна бути достатньо обтічною для мінімізації гідравлічного опору потоку річки, інакше ці гідроспоруди можуть руйнуватися протягом невеликого терміну. Динамічна навантаженість розглянутих вітчизняних гідроспоруд нічим не відрізняється від аналогічних показників гідроспоруд для Центральної Європи, а навантаженість типової греблі є навіть меншою ніж у відповідних гідроспорудах Європи.

Динамічне навантаження гідроспоруди під час паводків може у декілька разів перевищувати навантаження в меженний період. Тому малі греблі, які можуть повністю затоплюватися, повинні бути достатньо обтічними, монолітними і стійкими до динамічного впливу потоку ріки та рухомих донних

елементів. Великі гідроспоруди повинні мати здатність до акумулювання об'єму води під час паводків, що забезпечує їх стійкість та можливість водорегулювати потоки шляхом зменшення його швидкості. Зокрема повний об'єм водосховища Лесьна – 150 млн м^3 утричі перевищує його робочий об'єм, а висота протипаводкової греблі в м. Зволен майже удвічі перевищує напір води.

Обґрунтування залежності параметрів навантаженості гребель від розмірів водосховища для гідроспоруд, що успішно експлуатуються, та формулювання відповідних рекомендацій з проектування нових гідроспоруд, можливі за подальшого розширення наведеної вище бази даних.

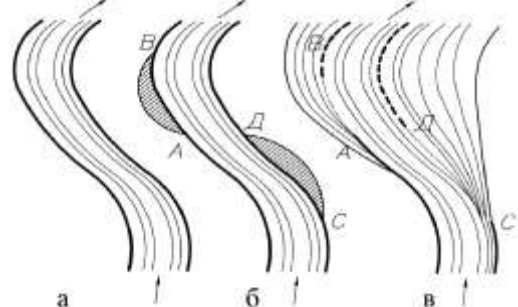


Рис. 9. Фази руслової деформації у зоні зміни вектора швидкості потоку: а – меженний рівень; б – пошкодження укріплень уздовж ділянок берегової лінії А – В, С – Д; в – розвивання русла річки

Руйнування берегової лінії під час паводку. Гірські річки характеризуються значними гідравлічними ухилами в поєднанні з відповідними втратами напору за рахунок значних нерівностей дна та конфігуративності русла. Збільшення витрати води Q під час паводків веде до збільшення швидкості потоку v , напору H , змоченого периметра та гідравлічного радіуса. Як наслідок – зростає величина втрат напору ΔH , енергетичний еквівалент яких є енергією руйнування берегової лінії. Знесення донного та берегового матеріалу із врахуванням наведених параметрів є класичною задачею трибології [18, 22], результати якої застосовуються в інженерній практиці. Руйнівні наслідки катастрофічних паводків підтверджують потребу уточнення інженерних розрахунків берегоукріплень із врахуванням динамічних ефектів, які виникають у потоці під час паводків. Одним із таких ефектів є кочення донних елементів та їх "плавучість" в турбулентному потоці рідини. Наслідком цього ефекту є великі обсяги кам'яних донних наносів після паводки. Найзначніші деформації берегової лінії спостерігаються в місцях зміни напрямку русла гірського потоку (рис. 9). Вони зумовлюються не тільки контактними напруженнями внаслідок динамічної взаємодії потоку із береговою лінією, значною мірою характер руйнувань залежить також від ударної взаємодії несеного потоком каміння з руслом.

Порівняльний аналіз сучасних берегових споруд подано в роботі [7]. Розрахунок параметрів таких берегоукріплень базується на використанні класичних задач технічної гідромеханіки [1], які потрібно коригувати з урахуванням перенесення донних матеріалів.

Формулювання задачі динамічної взаємодії річкового потоку з береговою лінією та донними

матеріалами. Розглянемо рух річкового потоку без бокових приток у криволінійних ортогональних координатах ξ, ψ, ζ (рис. 10), пов'язаних із нормальним перерізом та напрямом річкового потоку; $\psi = 0, \zeta = 0$ – просторова крива, що з'єднує центри мас нормальних перерізів потоку; рівняння кривої $f(\psi, \zeta) = \xi_0$ описує переріз площини $\xi = \xi_0$ із руслом річки; $\zeta = H_d$ – висота вільної поверхні річкового потоку над центром мас перерізу потоку, де $\zeta = H_d$. У потоці є донний матеріал (Ω), який вважатимемо абсолютно твердим тілом вагою $P = mg$.

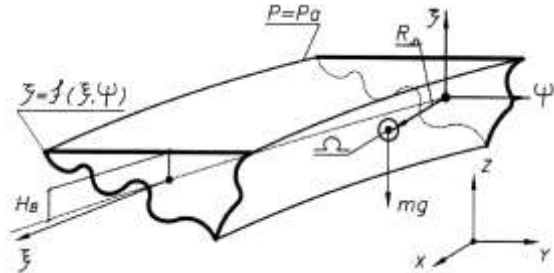


Рис. 10. Схема до математичного формулювання задачі

Координати центра мас тіла $\Omega = f(\xi_\Omega, \psi_\Omega, \zeta_\Omega)$; $\alpha_\Omega, \beta_\Omega, \gamma_\Omega$ – кути Ейлера, що визначають розміщення тіла Ω відносно центра мас. На тіло Ω діють окрім сили ваги – виштовхувальна сила $F_y = \rho g V$, де V – об'єм тіла, ρ – густина води та сила динамічної взаємодії тіла Ω з потоком рідини F_Ω , яка визначається з умови збереження імпульсу у взаємодії струменя рідини з тілом Ω . Рух річкового потоку для цього випадку визначається диференційними рівняннями руху рідини Ейлера:

$$\frac{dv_\xi}{dt} = M_\xi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \xi}, \frac{dv_\psi}{dt} = M_\psi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \psi}, \frac{dv_\zeta}{dt} = M_\zeta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \zeta}; \quad (1)$$

рівнянням нерозривності потоку рідини:

$$\frac{\partial v_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial v_\psi}{\partial \psi} + \frac{\partial v_\zeta}{\partial \zeta} = 0; \quad (2)$$

рівняннями руху вільного тіла:

$$m \frac{d^2 \xi_\Omega}{dt^2} = R_\xi, \quad m \frac{d^2 \psi_\Omega}{dt^2} = R_\psi, \quad m \frac{d^2 \zeta_\Omega}{dt^2} = R_\zeta, \quad (3)$$

а також динамічними та кінематичними рівняннями Ейлера руху тіла з нерухомою точкою [6]. Тут v_ξ, v_ψ, v_ζ – проекції швидкості v ; M_ξ, M_ψ, M_ζ – проекції об'ємних сил M на відповідні осі; p – гідродинамічний тиск; R_ξ, R_ψ, R_ζ – проекції вектора головних сил, які діють на тіло Ω , на відповідні осі. Для розв'язання системи рівнянь треба задати граничні умови:

$$p = p_a; \zeta = H_d; \quad (4)$$

$$u_n = 0, v_n = 0; f(\psi, \zeta) = \xi_0; \quad (5)$$

$$u_n^\Omega = 0, v_n^\Omega = 0; (\xi, \psi, \zeta) \in \Omega \quad (6)$$

та відповідні початкові умови. Граничні умови (5) і (6) визначають рівність нулевій нормальних складових переміщення та швидкості рідини на поверхні дна та тіла Ω . Задачу (1)-(6) у загальному вигляді розв'язують числовими методами для конкретних конфігурацій русла та тіла Ω . Вважаючи потік ідеальною рідиною, та припустивши, що динамічне збурення потоку тілом Ω має локальний характер,

розбиваємо розв'язання задачі на декілька етапів: A – визначення розподілу переміщень та швидкостей рідини всередині русла без урахування донних елементів; B – визначення параметрів руху донного елемента в потоці рідини – координат та швидкостей його центру мас; B – визначення параметрів ударної взаємодії тіла Ω з дном і берегами потоку – дотичних та нормальних зусиль, які і є причиною посилення руйнування берегової лінії.

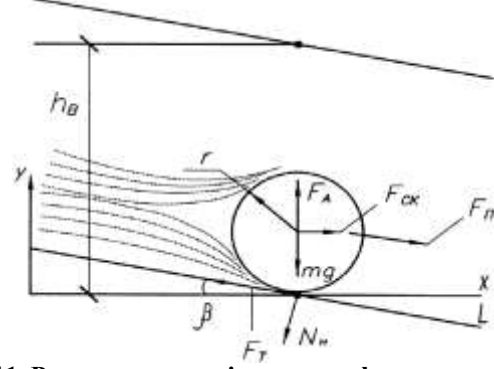


Рис. 11. Рисунок до задачі кочення сферичного каменя

Кочення сферичних каменів уздовж дна річкового потоку. Розглянемо задачу (1)-(6) для випадку сферичного донного елемента, що знаходиться на дні потоку з ухилом β (рис. 11).

Із умови рівноваги сил уздовж осі l :

$$F_{ne} + R - F_T = 0, \quad (7)$$

де: $F_{ne} = (mg - F_A) \sin \beta$ – скочувальна сила;

$F_A = \rho g V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g$ – виштовхувальна сила; R – сила

тиску потоку рідини зі швидкістю v на сферичний камінь; $F_D = f_T (mg - F_A) \cos \beta$ – сила тертя кочення з коефіцієнтом тертя f_T . Силу R визначимо з умови збереження кількості руху елементарних струменів рідини та кулі інтегруванням поверхнею сфери r :

$$R = 2\pi^3 v^2 r^2 \rho \quad (8)$$

Після певних перетворень

$$r = \frac{3}{2} \frac{\pi^2 v^2}{g} \frac{\rho}{\rho_e - \rho} \frac{1}{\cos \beta \cdot f_T - \sin \beta}, \quad (9)$$

ρ_e – густина каменя. Дана залежність є параболою, що проходить через початок координат (рис. 12). Отримані результати стосуються турбулентного руху рідини, оскільки за ламінарного швидкості рідини в придонній зоні наближається до нуля. Тому на графіку виділено критичну швидкість, перевищення якої призводить до переходу в турбулентний режим; за таких обставин каміння радіусом $r \leq r_0$ починає кочитися вздовж течії.

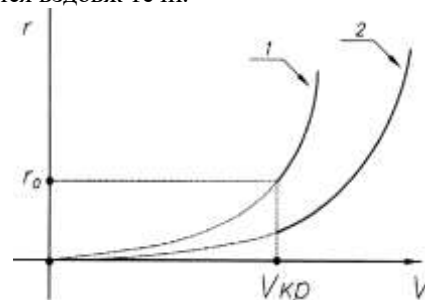


Рис. 12. Залежність радіуса r донного елемента від швидкості потоку для кочення (крива 1) та плавучості (крива 2)

Плавучість сферичних каменів в турбулентному потоці. Висока швидкість руху води в гірських річках під час паводків (понад 50 км/год) призводить до інтенсивного перемішування води з утворенням завихорень з висхідних та низхідних потоків води в площині живого перерізу (рис. 13).

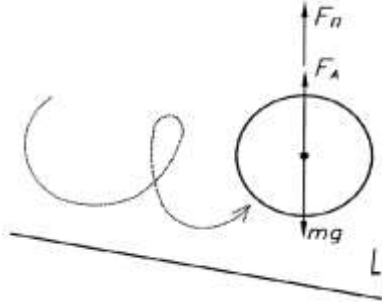


Рис. 13. Плавучість сферичних каменів у турбулентному потоці

Із фізичного змісту коефіцієнта Кориоліса α :

$$\Delta v = v(\sqrt{\alpha} - 1), \quad (10)$$

де Δv – середнє перевищення дійсної швидкості середньої швидкості потоку v уздовж течії. На підставі спостережень за річками під час паводків можна зробити висновок про хаотичність перемішування потоку, тому величина Δv стосується також і швидкості руху висхідних потоків води. Умову плавучості сферичного каменя в турбулентному потоці води річкового потоку подамо у такому вигляді:

$$F_A + R_{\text{адоо}} - mg = 0, \quad (11)$$

де $R_{\text{адоо}}$ – сила тиску висхідного потоку рідини із швидкістю Δv на сферичний камінь радіусом r . Аналогічно до співвідношення (8), проектуючи закон збереження кількості руху на вертикальну вісь із урахуванням сили ваги та виштовхувальної сили

$$R_{\text{адоо}} = 2\pi^3 \Delta v^2 r^2 \rho = 2\pi^3 v^2 (\sqrt{\alpha} - 1)^2 r^2 \rho. \quad (12)$$

Із співвідношення (11) отримуємо:

$$r = \frac{3}{2} \frac{\pi^2 v^2}{g} \frac{\rho}{\rho_e - \rho} (\sqrt{\alpha} - 1)^2. \quad (13)$$

Радіус каменя, що задовольняє умову плавучості в потоці рідини швидкістю v (13), є параболічною залежністю швидкості (рис. 12). Логічно, що крива 2 є пологішою за криву 1. Величину

$$K_{ie} = (\sqrt{\alpha} - 1)^2 \cdot (\cos \beta \cdot f_0 - \sin \beta) \quad (14)$$

назвемо коефіцієнтом плавучості, який виражає відношення радіуса каменя, що пливе потоком, до радіуса каменя, який котиться його дном, $K_{ie} < 1$.

Користуючись співвідношенням (13), отримаємо, що для швидкості потоку 36 км/год та $\alpha = 1,05$, набувають плавучості камені діаметром до 115 см, що узгоджується з виконаними спостереженнями.

Методику розрахунку берегоукріплень гірських річок потрібно поповнити розрахунками на міцність за умови "плавучості" в турбулентному потоці каменів відповідного діаметра та з врахуванням їх ударної взаємодії із русловою поверхнею.

ЛІТЕРАТУРА

- Бегам Л.Г., Семенов Н.И. Защита от размывов переходов через водотоки. – М. : Транспорт, 1979. – 364 с.
- Библюк Н.І. Екологічна сумісність наявних технологій лісозаготівлі з природним середовищем: європейський досвід і українські реалії // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2004. – Вип. 3. – С. 118-132.
- Библюк Н.І. Лісотранспорт в Українських Карпатах: головні етапи і тенденції розвитку // Науковий вісник УкрДЛТУ : Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля. – Львів : РВВ УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.3. – С. 183-194.
- Библюк Н., Ковальчук І., Стиранівський О. Екологічні проблеми Гуцульських Карпат та шляхи їх вирішення // Історія Гуцульщини. – Львів : Вид-во "Каменярь". – 2001. – Т. VI. – С. 540-570.
- Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М. : Изд-во "Наука", 1981. – 720 с.
- Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. – Т. II. – М. : Изд-во "Наука", 1972. – 332 с.
- Герасимчук В.О., Климуш М.Д., Круцик М.Д. та ін. Річкові укріпні споруди. – Коломия : Вид-во "Вік", 2000. – 142 с.
- Гірські автомобільні дороги України / за ред. В.О. Герасимчука. – Коломия : Вид-во "Вік", 1998. – 348 с.
- Гірські автомобільні дороги Українських Карпат / за ред. В.О. Герасимчука. – Ужгород : Вид-во "Закарпаття", 2000. – 272 с.
- Горшенін М.М., Пешко В.С. Ерозія гірських лісових ґрунтів та боротьба з нею. – Львів, 1972. – 148 с.
- Гошко Ю.Г., Кішук Т.П., Могитич І.Р., Федака М.П. Народна архітектура українських Карпат XV-XX ст. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1987. – 272 с.
- Дебринюк Юрій. Причини і наслідки паводків у Західному регіоні: думки науковців // Освіта лісівнича : часопис НЛТУ України. – № 13-14. – 2008.
- Екологічна ситуація на макросхилі Українських Карпат / за ред. М.А. Голубця. – Львів : Вид-во "Поллі", 2001. – 162 с.
- Захист автомобільних доріг від зсувів / за ред. М.А. Круцика. – Коломия, 2003. – 425 с.
- Історія Гуцульщини. – Львів : Вид-во "Логос", 1999. – Т. 4. – 568 с.
- Калуцький І.В. Вплив будівництва доріг та інших господарських заходів на вітровальність лісу в Карпатах // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ УкрДЛТУ. – 1998. – Вип. 9. – С. 23-30.
- Ковальчук І.П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. – Львів : Ін-т українознавства, 1997. – 440 с.
- Крагельский И.В. Трение и знос. – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
- Круцик М.А., Максименко С.Ф. Энциклопедия горных автомобильных дорог и окружающая среда. – К. : Будівельник, 1981.
- Парпан В. Природоохоронне ведення господарства // Лісовий і мисливський журнал. – К. : 2000.
- Парпан В.І., Олійник В.С. Водоохоронно-захисна роль гірських лісів Карпат і катастрофічні повені // Доповідь на розширеному засіданні ЛАН України 16 вересня 2008 р.
- Пелех Б.Л., Максимук І.В., Коровайчук І.М. Контактные задачи для слоистых элементов конструкций и тел с покрытиями. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1988. – 280 с.
- Пелипейко І. Містечко над Рибницею. – Косів : Писаний камінь, 2004. – 572 с.
- Прокєтування, будівництво та експлуатація річкових укріплених споруд на гірських автомобільних дорогах України :

метод. вказівки. – Івано-Франківськ : Галдорпрогрес, 2002. – 165 с.

25. **Рамад Ф.** Основы прикладной экологии. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 544 с.

26. **Рудько Г.У., Консевич Л.М.** Наукові основи екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону України. – К. : Вид-во "Знання України". – 138 с.

27. **Стойко С.** Екологічні засади сталого розвитку лісового господарства в Карпатах // Матеріали регіональної науково-практичної конференції. – Ужгород. – 1998. – С. 93-99.

28. **Тепловой и водный режим** Украинских Карпат / под ред. д-р географ. наук, проф. Л.И. Сакали. – Львов : Гидрометеиздат, 1985. – 366 с.

29. **Małe elektrownie wodne:** Niekonwencjonalne źródła energii // Kuchkowski K. i inni. [Електрон. ресурс]. – Доступний з: <http://www.ely.pg.gda.pl>.

N. I. Byblyuk, I. P. Kovalchuk, O. S. Machuga

DANGEROUS NATURAL DISASTERS IN THE CARPATHIANS: THE REASONS AND THE WAYS OF THEIR MINIMIZATION

The analysis of natural factors' and economic activity influence on the Ukrainian Carpathians' catastrophic floods appearing is completed and the ways of their destructive effects prevention is considered. The comparative analysis of the state and geometrical parameters of some hydraulic structures on several rivers in Czech Republic, Slovakia, Poland, Ukraine is presented in this paper. Some interdependencies between relative geometrical parameters of dams and storage reservoirs, water consumption in surveying period are founded out. Under the hydraulic structures' loading parameters analysis it is concluded that neglect and total destruction of the hydraulic structures in Ukraine is the result of supervision and constructions' servicing absence. The stating of the problem of interaction between the bottom elements with the water and the river channel is presented. The analysis of this problem solution for partial cases shows the dependence of the dimensions of stones, which roll or float in river streams during the floods.

