


551.311
К 89

Е.Д. Кузьменко, Т.Б. Чепурна

Прогнозування селевих процесів



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

Е.Д. Кузьменко, Т.Б. Чепурна

ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ

МОНОГРАФІЯ

Івано-Франківськ
2014

УДК 551.311.2

ББК 26.222.5

К89

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор, завідувач відділу інженерної геології Інституту геологічних наук НАН України,
Демчишин М. Г.

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності і промислової екології ІФНТУНГ,
Семчук Я. М.

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
Яковлев Є. О.

Прогнозування селевих процесів: монографія /
Е. Д. Кузьменко, Т. Б. Чепурна. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ,
2014. – 254с.

ISBN 978-966-694-206-0

Монографію присвячено проблемі довгострокового регіонального просторово-часового прогнозу розвитку селевих процесів. Надано характеристику селевих процесів, розглянуто ураженість селевими процесами території України. Встановлено, що прогнозування селевих процесів слід здійснювати з урахуванням комплексного впливу просторових і часових факторів.

The monography is devoted to study of issue of the debris flow development and the long-term regional spatio-temporal forecast of it. Description of debris flow is given, the staggered is considered by the debris flow processes of territory of Ukraine. It is found that the complex influence of spatial and temporal factors should be used in the debris flow processes forecast.

Друкується за ухвали Вченої Ради Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

ISBN 978-966-694-206-0

УДК 551.311.21

ББК 26.222.5

© Кузьменко Е.Д., Чепурна Т.Б.

© ІФНТУНГ, 2014

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. ВИВЧЕННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ.....7	
1.1. Селеві процеси, їх класифікація.....7	
1.2. Селенебезпечні території світу та України.....20	
1.3. Дослідження селевих процесів та методики прогнозування.....29	
Розділ 2. РОЗВИТОК СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СЕЛЕУТВОРЕННЯ.....55	
2.1. Особливості селевих процесів Карпат.....55	
2.2. Аналіз факторів, що впливають на розвиток селів у регіональному масштабі.....67	
Розділ 3. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОСТОРОВО- ЧАСОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕНЕБЕЗПЕКИ.....157	
3.1. Розрахунок еталонного просторового комплексного показника.....160	
3.2. Розрахунок функції комплексного показника багаторічної селевої активності.....165	
3.3. Методика створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки.....169	
Розділ 4. РОЗРАХУНОК ФУНКЦІЇ ЕТАЛОННОГО ПРОСТОРОВОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЙМОВІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ОСЕРЕДКІВ СЕЛЕСХОДЖЕННЯ ДЛЯ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТТЯ.....174	
4.1. Виявлення закономірностей розподілу осередків селесходження.....174	
4.2. Розрахунок функції еталонного просторового комплексного показника	

ймовірності розподілу осередків селесходження.....	200
Розділ 5. РОЗРАХУНОК ФУНКЦІЇ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА БАГАТОРІЧНОЇ СЕЛЕАКТИВНОСТІ ДЛЯ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТТЯ.....	204
5.1. Виявлення закономірностей багаторічної селеактивності та факторів впливу на основі аналізу часових рядів.....	205
5.2. Розрахунок функції комплексного показника багаторічної селеактивності.....	214
Розділ 6. СТВОРЕННЯ ПРОГНОСТИЧНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СЕЛЕНЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТТЯ.....	217
6.1. Побудова прогнозової часової моделі багаторічної селевої активності.....	217
6.2. Побудова прогнозних картографічних моделей селенебезпеки.....	222
ВИСНОВКИ.....	229
ЛІТЕРАТУРА.....	232

ВСТУП

Світова статистика селесходжень свідчить, що селі є досить поширеним і частим явищем на планеті Земля і на території України зокрема. Випадки сходження селів спостерігаються в багатьох країнах світу. Відомо, що понад 15 % суші Землі є тією чи іншою мірою селенебезпечними. За даними Державної служби геології та надр України селеві процеси в Карпатах розвиваються на 70 % гірських водозборів. Сходження селєвих потоків неодноразово призводило до людських жертв, руйнування автомобільних доріг та залізничних шляхів, мостів, гребель, житлових будинків, ліній зв'язку та електропередач, порушення гідрологічного режиму рік, замулення сільськогосподарських угідь. Останніми роками почастишали випадки сходження селів у басейнах карпатських річок, особливо під час повеней 1998, 2001, 2008, 2010 рр.

На даний час методології регіонального прогнозування селів, яка б урахувала дію комплексного впливу просторових і часових факторів, не існує. Тому розробка такої методології і створення на її основі прогностичних моделей селенебезпеки є актуальною задачею. Необхідність таких робіт диктується Постановами Кабінету Міністрів України від 3 липня 2006 р. № 901 "Про затвердження Комплексної програми захисту сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод на період до 2010 року та прогноз до 2020 року" та від 24.10.2001 р. № 1388, зі змінами "Про затвердження Програми комплексного протипаводкового захисту в басейні р. Тиса у Закарпатській області на 2002-2006 роки

Розділ 1. ВИВЧЕННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ

1.1. Селеві процеси, їх класифікація

Слово «*сель*» у перекладі з арабської та тюркських мов означає бурхливий гірський потік, який переносить велику кількість кам'яного матеріалу. Уперше використання цього терміну запропонував Б.І. Статковський у 1859 році [82]. На сучасних міжнародних селевих конференціях використовують два терміни: "mudflows" і "debris flows". Різниця між ними полягає в тому, що термін "debris flows" використовується до селевих явищ, які характеризуються низькою відсортованістю матеріалу і більшою різноманітністю складових.

Згідно з новітніми уявленнями про селеві процеси, *селі* – це раптові короткочасні гірські потоки, сильно насичені твердим матеріалом (до 70 % від загального об'єму), які виникають за певних природних умов після злив, при інтенсивному таненні снігу і льоду, при прориві завалів русел і гребель у річкових басейнах, де є великі запаси пухко-уламкового матеріалу. Густина селевих потоків коливається в широкому діапазоні – від 1100 до 2500 кг/м³. Для селів характерний пульсуючий рух суміші твердого матеріалу та води, який супроводжується деформацією русла і закінчується формуванням конусу виносу або формування тимчасових загат. Швидкість селевих потоків може варіюватися від 5 км/год до 80 км/год. Обсяг матеріалу, який виносить *сель*, може досягати 100-100000 м³.

Крім руйнівної сили, яка часто має негативний вплив на біосферу, у тому числі призводить до людських жертв і

матеріальних збитків, потрібно відмітити велику геодинамічну роль селів у процесах денудації. Відомо, що селевий потік у невеликому селевому басейні за один раз може винести стільки пухко-уламкового матеріалу, скільки звичайний водний потік виносив би не одну сотню років.

Селеві процеси розвиваються в селевих басейнах (річкових басейнах, для яких характерні селесходження) у межах селевих осередків. *Селевий осередок* – це певна особлива в морфологічному відношенні ділянка, що містить потенційний для утворення селю пухко-уламковий матеріал і характеризується достатніми кутами нахилу. У селевому басейні розрізняють три зони: формування селів (живлення), їх транзиту і накопичення селевих відкладів (розвантаження) (рис. 1.1 а). Будова тіла селю наступна: передня хвиля, або голова, має найбільшу висоту, рухається найшвидше і може переносити у своєму масиві найбільші складові; хвіст селю – характеризується уповільненням руху дрібнодисперсних частин і вищою відсортованістю матеріалу (1.1 б.). Розрізняють діючі та потенційні селеві осередки. *Діючі селеві осередки* – це осередки, у яких наявні сліди селесходження. *Потенційні селеві осередки* – осередки, у яких пухко-уламковий матеріал може бути джерелом твердого стоку в результаті розмиву берегів, активізації зсувів, катастрофічних проривів гребель унаслідок екстремальних синоптичних умов або сейсмічної діяльності.

Розрізняють два типи селевих осередків: обводнення та взаємодії. Селеві осередки обводнення – улоговини в покривних пухко-уламкових породах з оголеними, задернованими або залісненими схилами або в скельних чи напівскельних породах.

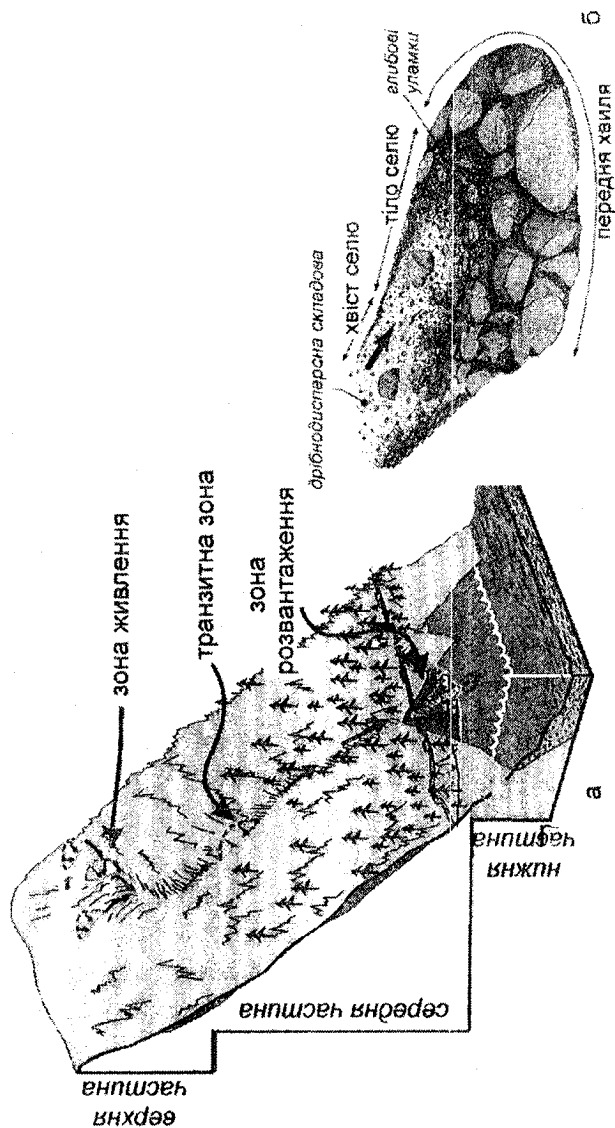


Рис. 1.1. Будова селевого басейну (а) і селю (б)

Такі осередки містять потенційні селеві масиви, у яких може розвиватися зсувний селевий процес із формуванням потоків високої густини.

Селеві осередки взаємодії – це улоговини, урізи, ритвини, русла, тальвеги в покривних пухко-уламкових породах та улоговини і кулуари в корінних породах, які містять потенційні селеві масиви та мають зверху проривні водні системи і водозбори, які можуть формувати паводки з витратами, що перевищують їх критичне значення [25].

Виникнення та розвиток селів відбувається таким чином. У руслах селевих басейнів відбувається процес накопичення пухкого матеріалу через вивітрювання гірських порід і гірської ерозії. Далі наявні пухкі гірські матеріали по гірських руслах із плином води переміщуються з підвищених ділянок у нижчі, селеві виноси розосереджуються в гірських долинах. Кінцевим продуктом селевих потоків є селевий колловій, який являє собою нагромадження невідсортованого різноуламкового матеріалу з переважанням в одних випадках валунів, брил, гравію, а в інших – глини або піску. Грубий колловій, що розташований у гирловій частині струмка, по якому рухався селевий потік, може сортуватися вторинно шляхом вимивання з нього водами струмка дрібних частинок і їх перевідкладення нижче за течією.

Таким чином, селенебезпечний басейн умовно можна розділити на три частини, характеристика яких наведена в табл. 1.1. Проте така будова долин характерна не для всіх селенебезпечних гірських річок і тимчасових водотоків, хоча буває часто.

Важливою умовою, що визначає формування селевих паводків, є накопичення пухкого уламкового матеріалу в межах водозбірної басейну чи в якійсь його частині, яка

доступна для змиву та розмиву поверхневими річковими, дощовими і талими водами.

Таблиця 1.1. Будова селенебезпечного басейну

Частина селенебезпечного басейну	Характеристика
Верхня частина	Долина розширена і за формою являє собою напівцирк із крутими (від 30-40 до 50-60°) ділянками зі стрімкими схилами, що покриті осипами, кам'яними розсипами зі слідами обвалів різноманітних зсувних посувань. Схили часто розчленовані глибокими ярами, по яких з усіх боків стікають дощові і талі води, утворюючи основний потік. Це головна частина водозбірного басейну річки, тут у загальному створюється селевий паводок.
Середня (транзитна) частина	Являє собою яр, каньйон. У паводок насичення потоку уламковим матеріалом частково відбувається і за рахунок розмиву русла потоку, схилів долин і накопичень в їх основі.
Нижня (пригірло-ва) частина	Долина поступово переходить у передгірську рівнину. Ця частина долини являє собою ділянку виносу і накопичень пролювіального матеріалу.

Цей матеріал може бути різноманітним за походженням: колювіальним, делювіальним, алювіальним, льодовиковим і воднольодовиковим. За своїм складом він може бути різноманітним і складатися з різних за розміром

глиб, уламків, валунів, гальки, гравію, піску, супісєй і суглинків.

Питанням класифікації селевих басейнів, сєлів і осередків їх зародження присвячено велику кількість робіт [74-159]. В основу класифікацій закладені певні ознаки:

- геоморфологічні і орографічні особливості басейнів;
- особливості геологічної будови басейнів;
- гідрографія і гідрологія водотоків;
- генезис осередків зародження сєлів;
- джерела водного живлення;
- повторюваність сєлів;
- інтенсивність прояву екзогенних геологічних процесів (ЕГП);
- гранулометричний склад твердої складової селевих потоків;
- характер руху сєлів;
- ступінь сєленебезпечності басейнів;
- результати дії сєлів на об'єкти народного господарства та завданий ними збиток.

Як бачимо, існуючі класифікації селевих басейнів, селевих потоків і селевих осередків характеризується численністю, наведемо деякі з них.

Загальна генетична класифікація осередків зародження сєлів, розроблена А. І. Шеко, яка найчастіше використовується для класифікації сєлепроявів, наведена в табл. 1.2. За нею осередки зародження сєлів поділяються за гідрологічними особливостями на чотири групи [82, 159].

До першої групи належать осередки зародження сєлів, які розміщені в долинах невеликих струмків і тимчасових водотоків.

Таблиця 1.2. Загальна генетична класифікація осередків зародження селів
(за А.І. Шеко)

Групи	Класи	Типи	Обсяг твердого матеріалу, що надходить	Характер формування твердої складової	Характер формування водної складової	Характер формування селевого потоку
1	2	3	4	5	6	7
I. Вогнища, пов'язані зі скупченням пухкого матеріалу в руслах тимчасових і малих водотоків	1. Скупчення пухкого матеріалу в водотоках з крутими тальвегами (Більше 15°) 2. Скупчення пухкого матеріалу у водотоках з пологими тальвегами (менше 15°)	Характер надходження твердого матеріалу: зсувний обвальний осипний лавинний ерозійний селевий соліфлюкційний курумний	Обсяг одночасного надходження матеріалу не має значення	Завичай постунове (від кількох місяців до декількох років) захарщення русла пухкоуламковим матеріалом або одночасне з формуванням селевих потоків	За рахунок дощів і танення снігу	Зрушення уламкового матеріалу відбувається у вигляді сповзання або зсуву під дією води. Катастрофа викликається атмосферними опадами, рідше інтенсивним таненням снігу.

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7
II. Вогнища, пов'язані з підгачуванням річок	Можливі підгачування: 1. Загати на малих річках 2. Загати на середніх річках 3. Загати на великих річках	Характер підгачування: зсувний обвальний лавінний, селевий	Тисячі м ³ . Сотні тисяч м ³ . Сотні мільйонів, мільярд м ³ .	Дуже швидке (від кількох хв. до декількох діб) надходження матеріалу, який підгачує річку, а також за рахунок розмиву руслових відкладів і підмиву берегів	За рахунок води, яка накопичилася за перемичкою з моменту підгачування до початку руйнування	У результаті прориву загати. Не залежить від атмосферних опадів і починається при переливі води через загату
	Давні завали і греблі: 1. Давні завали 2. Насипні дамби 3. Греблі інших конструкцій	Руйнування завалів і гребель, викликані: 1. Переливом води у результаті: а) обвалів; б) зсувів; в) селів 2. Землетруси 3. Суфозія		За рахунок матеріалу завалу або греблі, розмиву руслових відкладів і підмиву берегів	За рахунок води в озері переливом або водосховищі	Викликається раптовим переливом води через греблю, раптовим обваленням бортів озера або селем. Не залежить від атм. опадів

Закінчення табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7
III. Вогнища, пов'язані з діяльністю сучасних льодовиків	1. Льодовикові озера 2. Загати поверхневих або підземних водотоків	Руйнування перемичок, викликані переливом води в результаті інтенсивного танення льоду та снігу, обвалення морени в озеро	Тисячі м ³ . Сотні тисяч м ³ . Сотні мільйонів, мільярд м ³	За рахунок розмиву морени, а також пухкоуламкових порід, що складають русло	За рахунок танення льодовиків, прориву моренних озер і підземних водойм	Викликається інтенсивним таненням льодовика, дуже рідко літніми теплими дощами. Розвиток катастрофи швидкий
IV. Вогнища, пов'язані з діяльністю вулканів		1. Викиди пухкоуламкового матеріалу і пари. 2. Прорив кратерних озер. 3. Танення льодовиків. 4. Сповзання вулканічних конусів		Осадження продуктів виверження вулканів перед зливою, надходження продуктів руйнування при прориві кратерних озер	За рахунок дощів, танення снігу і льодовиків, а також виплеску води з кратерних озер	Селеві потоки формуються під час і після виверження вулкана

Селева катастрофа зазвичай відбувається після тривалого накопичення пухкого матеріалу і зумовлена дощами та зливами. Осередки цієї групи широко поширені та дають найбільший внесок у кількість випадків сходження селів.

Друга група осередків зародження селів об'єднує дві великі підгрупи, які пов'язані із загачуванням гірських рік. Перша підгрупа включає сучасні завали рік, які зумовлені зсувами, обвалами, селями з приток. За цих умов дуже швидке надходження пухкого матеріалу у водотік викликає загачування річок. До другої підгрупи належать древні загати, які стали причиною виникнення озер, а також штучні загачування рік греблями.

Третя група осередків зародження селів пов'язана з діяльністю сучасних льодовиків. Виникнення селевих потоків зазвичай відбувається в період інтенсивного танення льодовиків.

Четверта група прямо чи опосередковано пов'язана з вулканічною діяльністю. Виникнення селів може бути результатом викиду пухкоуламкового матеріалу з кратерів вулканів, прориву кратерних озер, танення льодовиків або активізації вулканічної діяльності.

Механізми зародження селів можуть бути зведені до трьох типів: ерозійний, проривний, обвальоно-зсувний (табл. 1.3).

Класифікація селів за джерелом живлення запропонована С. М. Флейшманом, який виділяє селі, які сформовані в результаті: 1) злив і дощів; 2) швидкого танення снігу; 3) прориву завальних озер; 4) прориву гребель [141].

Таблиця 1.3. Механізми зародження селів

Тип	Вихідні процеси	Етапи механізму зародження	Характер взаємодії з руслом
Ерозійний	Ерозія схилів і русла	Плоский змив і розмив схилів і русла, збільшення насиченості водного потоку уламками порід, селева хвиля	Рух потоку контролюється руслом
Проривний	Прорив водоймищ	Водяна хвиля, розмив і затягування до руху уламків мас порід, селева хвиля	Найбільше перероблення русла
Обвальнo-зсувний	Зрив масивів водонасичених гірських порід	Обводнення масиву та послаблення структурних зв'язків, зсув із руйнуванням структури, селева хвиля	Переповнення русла та виникнення акумулятивних форм

За потужністю (об'ємом) виділяють селі: катастрофічні, потужні, середньої та малої потужності. Катастрофічні характеризуються виносом матеріалу понад 1 млн м³ і спостерігаються, як правило, на земній кулі один

раз у 30-50 років. Потужні виносять матеріал об'ємом у 100 тис. м³ і виникають рідко. При селях малої потужності виноситься матеріалу близько 10 тис. м³ і виникають такі селі щорічно, іноді по декілька разів на рік.

За характером руху селів, що залежить від ступеня насиченості твердим матеріалом, селі поділяють на дві категорії: зв'язні чи структурні та текучі чи турбулентні. У структурному або ламінарному потоці рухаються зв'язні потоки. Їхній рух відбувається майже прямолінійно зі слабким розтіканням убік. При зупинці такі потоки не розпадаються на складові, а застигають. За структурою ламінарний потік нагадує бетонну масу, що тече лотком. Незв'язні потоки рухаються в турбулентному режимі. Для них характерне розтікання в межах русла, а на конусі виносу відбувається деякий розподіл матеріалу за крупністю фракцій.

Рибаківа Е. К. запропонувала таку класифікацію селів за *гранулометричним складом твердої складової*, за якою виділяють три категорії.

- I категорія (зв'язна, структурна) – грязева. Об'ємна вага 1,9 – 1,6 т/м³. Склад потоку – не більше 25 - 30 % від твердої частини є глинисті фракції, решта – пісок, гравій, галька, валуни. Потік рухається як структурне ціле, при зупинці застигає, не розпадаючись на основні частини. Руйнує все на своєму шляху.

- II категорія (текуча, турбулентна) – водокам'яна. Об'ємна вага 1,6 – 1,3 т/м³. Мала насиченість потоку мілкоземом, перевага велико-уламкового матеріалу – до 60 %. Велика руйнівна сила. На конусі виносу відбувається сортування матеріалу за крупністю.

- III категорія (текуча, турбулентна) – грязекам'яна. Об'ємна вага 1,4 – 1,05 т/м³. Потік насичений зваженими і

донними наносами галечникового складу. Протікання потоку вбільшій мірі беззаторне, руйнування перешкод відбувається внаслідок підмиву.

За станом рідкої складової селеві потоки поділяють на зв'язні та незв'язні. У перших практично вся вода перебуває у зв'язному стані. Це грязеві та грязекам'яні потоки. У незв'язних (водокам'яних потоках) є велика кількість вільної води.

З урахуванням параметрів геолого-геоморфологічної будови територій, кліматичних умов прояву та кількісних характеристик селів у роботі [20] виділено шість *типів селевих потоків*: схиліві, руслові, яружно-балкових систем, високогірних областей давнього і сучасного зледеніння, сейсмічних зон, районів сучасного вулканізму.

Далі наводимо класифікації, щодо характеристик селевих басейнів.

Залежно від висотного розташування басейни поділяють на високогірні (2,5 км і більше), середньогірні (1,0-2,5 км) та низькогірні (до 1 км).

За селеактивністю басейни поділяють на три групи:

- сильноселеносні, що відрізняються інтенсивним утворенням та наявністю пухкого матеріалу; їх здатність до селеутворення дорівнює 15-35 тис. м³ вивітрів з 1 м² активної площі за один сель;

- середньоселеносні, що відрізняються інтенсивними процесами вивітрювання та ерозії; їх здатність до селеутворення значно нижча і має величину в межах 5- 15 тис. м³;

- слабоселеносні, характеризуються менш інтенсивним вивітрюванням і мають недорозвинену гідрографічну сітку з деякою деформацією русла та схилів; їх селева здатність складає до 5 тис. м³.

1.2. Селенебезпечні території світу та України

Випадки сходження селів спостерігаються в багатьох країнах світу. Відомо, що понад 15 % суші Землі є тією чи іншою мірою селенебезпечними.

У Європі селеві потоки виникають в основному в приальпійських країнах (Франція, Італія, Австрія, Швейцарія, Чехія, Словаччина, Німеччина). В Азії селенебезпечними є гірські Гімалайські райони (Індія, Китай). В Америці від селевих потоків страждають головним чином країни, що розташовані в зонах хребтів Анд і Кордильєр (США, Мексика, Колумбія, Перу, Чилі та ін). Спостерігаються також селеві явища в гірських районах Африки та Австралії, на островах Тихого, Атлантичного й Індійського океанів (Шрі-Ланка, Мадагаскар та ін) [65].

Щодо України, то до територій, які є селенебезпечними, належать Крим і Карпатський регіон (рис. 1.2). В АР Крим нараховуються три селеактивні басейни (рис. 1.3) з 42 селенебезпечними водотоками загальною довжиною 202,6 км, із них 13, довжиною 154,4 км, загрожують забудованим територіям [137, 67]. Причинами розвитку селів є сильні зливи, наявність гірських порід, що легко піддаються розмиву, а також знищення ґрунтового покриву в результаті вирубки лісів та інтенсивного випасу овець. Селі частіше спостерігаються влітку під час інтенсивних злив, що випадають зазвичай на обмеженій площі. Зрідка селі бувають узимку.

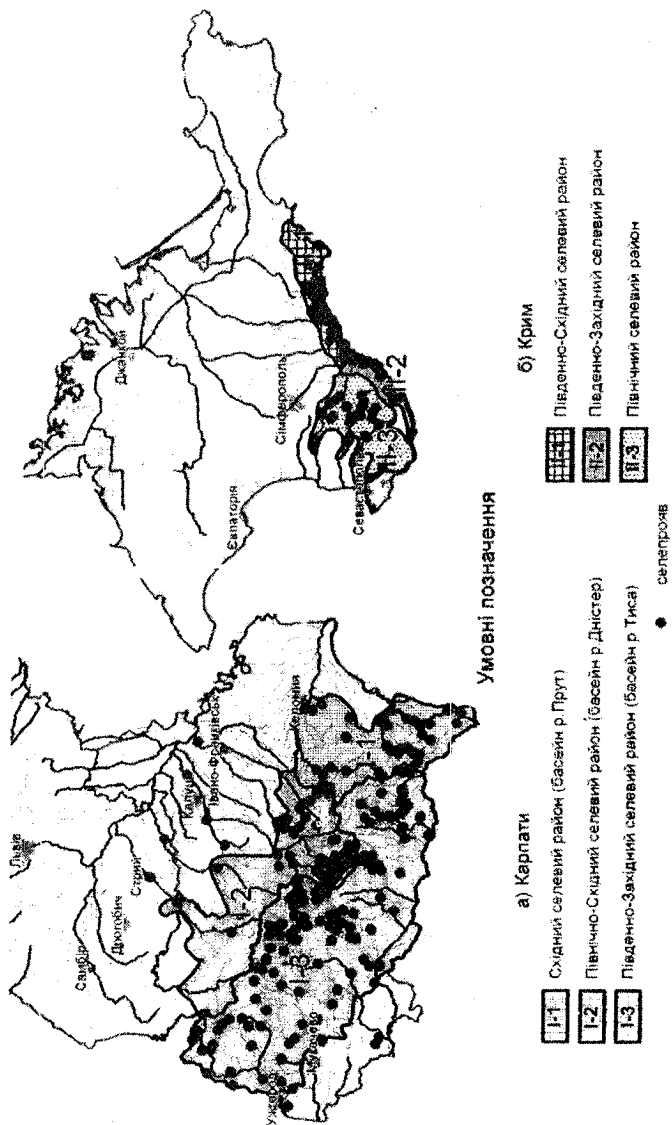


Рис. 1.2. Селенебезпечні території України, за [137]

Основну масу твердого матеріалу селів Криму складають продукти вивітрювання флішових відкладів таврійської серії. У зв'язку з цим у конусах виносу переважають глинисті сланці та пісковики, меншою мірою конгломерати і дуже рідко вапняки. За механічним складом селів відклади в конусах виносу представлені в основному галькою (10-100 мм), яка становить близько 60-65 % від усієї маси наносів. Наступне місце займають валуни (500 - 1500 мм), яких у конусах виносу міститься до 20 %. Гравій (2 - 10 мм) міститься до 10 %. Зустрічаються великі брили (більше 1500 мм), яких буває 3-5 %.

Сумарний вміст дрібних часток (пісок, пил), близько 1 %. Очевидно, дрібні фракції виносяться за межі конусу виносу.

Басейни річок Гірського Криму за ступенем селепрояву можна розділити на три групи:

1) слабоселеактивні з повторюваністю селів один раз у 5-10 років (річки північного схилу Головного пасма та р. Учан-Су);

2) середньоселеактивні, на яких селі виникають один раз на 3-5 років (балки південно-західної частині Гірського Криму);

3) сильноселеактивні - з селями один раз на 2-3 роки (річки південно-східній частині Головної гряди - Ускут, Шелен, Ворон, Ай-Серез). Тут максимальні показники горизонтального розчленування рельєфу сягають 12 км/км², відносно перевищення рельєфу становить 500-700 м, а переважаючий нахил схилів - 15-30°. Усе це створює сприятливі умови для формування селів

У Карпатському регіоні на території Львівської, Закарпатської, Івано-Франківської та Чернівецької

областей нараховується три селеактивні басейни, де налічується 219 крупних селевих водотоків.

Випадки селесходження в Карпатському регіону описані ще в 1927 р. Л. Бартніцьким. Один з найбільш катастрофічних селів зафіксовано в 1954 р. у басейні Білого Черемошу, у результаті якого загинули 3 людини і 15 поранено. Руйнування внаслідок сходження селів спостерігаються і в наші дні. Так у 1998 р. в результаті селесходження було зруйновано 10 км автомобільних і 15 км вузькоколіїних доріг у басейні р. Тересви [80]. У тому ж році в районі с. Руська Мокра внаслідок сходження селю було зруйновано будинок, у якому загинули 4 людини [93].

В Івано-Франківській області на 2010 рік відмічено 270 дрібних водотоків, які займають площу 606,9 км², у Чернівецькій – 70 водотоків на площі 255,5 км². На території Львівської області в басейнах рр. Дністер і Стрий зафіксовано проходження селів на 50 водотоках площею 3055 км².

Найбільшою селеактивністю характеризуються басейни рр. Черемош і Прут, де формуються переважно водокам'яні, рідше – грязе-кам'яні селі. У басейні р. Білий Черемош: смуга максимальної густоти розчленування рельєфу – 3-5 км/км² – розташована в зоні Шибенського глибинного розлому. З цією смугою пов'язані ділянки найбільших нахилів поверхні (30-40°), де формуються численні зсуви, які живлять селеві потоки.

У Закарпатській області майже 40 % річкових басейнів характеризуються розвитком селевого процесу. Активізація відмічається у верхів'ях 270 дрібних водотоків на площі 1803 км². У період березневої повені 2001 р. у межах області зійшли 82 селевих потоки, що зруйнували

13 та пошкодили 38 об'єктів [137]. Результат дії одного з найбільш потужних селів зображено на рис. 1.4, 1.5, який зійшов у с. Лопухів Тячівського району [138]. Сходження селів у 2010 р. зафіксовано в селах Кваси та Видричка Рахівського району, де селеві потоки зійшли після інтенсивних злив. Об'єм винесеного матеріалу становить 23390 та 800 м³ відповідно, складений він переважно щєбенисто-жорств'яним і глинистим матеріалом потужністю до 1-3 м. У с. Кваси селевим матеріалом були загромаджені 4 житлові будинки та залізничний міст, а в с. Видричка – автомобільний міст [67].

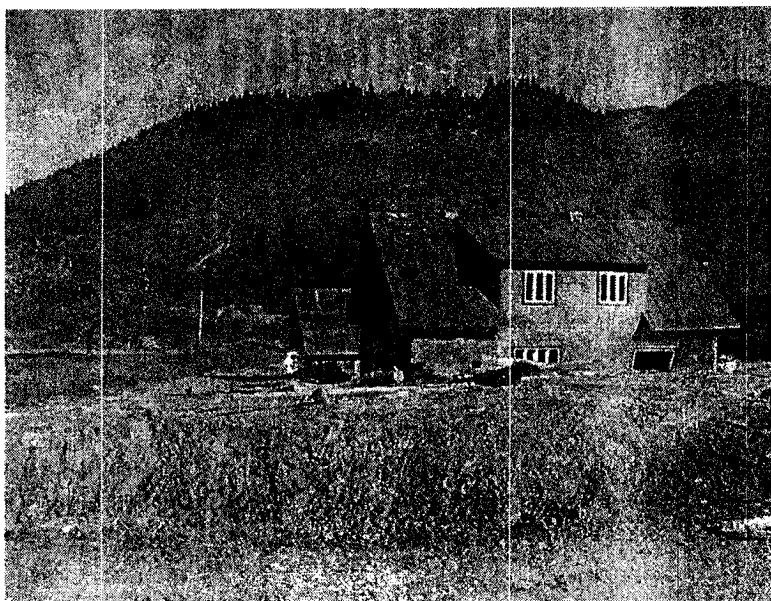


Рис. 1.4. Селевий нанос поблизу с. Лопухів



Рис. 1.5. Зона розвантаження селю поблизу с. Лопухів

Наприкінці ХІХ століття в Австрії було створено спеціальну службу, яка займалася захистом різноманітних об'єктів на території Карпат від селів та лавин.

У 1904 р. було розроблено проекти регулювання річищ карпатських річок, що представляли спрямлення ділянок річок, які сильно розмивалися, зміцнення їх берегів і будівництво спеціальних споруд для захисту від руйнувань населених пунктів, сільськогосподарських угідь, залізниць та інших об'єктів. Підпірні стінки на скельній основі будувалися переважно вздовж залізниць.

На ділянках шосейних і ґрунтових шляхів зміцнення берегів проводилось дерев'яними спорудами - "кашицями". У річищах деяких невеликих селевих потоків

споруджували поодинокі греблі з каменю на цементному розчині.

Сучасні надійні інженерні споруди, що з'явилися останнім часом, являють собою спеціальні селезахисні та селепропускні споруди, які дозволяють спрямовувати у визначене річище всі виноси, які надходять із селевого басейну.

Крім того застосовують такі заходи:

а) організаційно-господарські: оздоровлення існуючих лісів і ландшафтів шляхом сприяння їхньому природному оновленню способом регулювання випасу худоби та системи землеробства у водозбірному басейні, стабілізація крутих схилів селеносних басейнів;

б) профілактичні агролісомеліоративні: затримка стоку у верхів'ях басейну з метою різкого ослаблення ерозійно-селевих потоків. Шляхи: полезахисне лісорозведення, терасування гірських схилів крутизною не більше 35° , не уражених зсувними процесами.

Регулювання поверхневого стоку в зоні зародження селевих потоків є найбільш ефективним способом зміни режиму сніготанення, спуску льодовикових озер. Процес сніготанення регулюють, створюючи димові екрани чи зачорніння сніжного покриву. У першому випадку відбувається уповільнення сніготанення, у другому – прискорення.

Боротьба із селями є складною і вимагає проведення певних інженерних заходів. Основні з них:

а) селевий потік перехоплюють загатами (баражами) на конусі виносу; влаштовують систему загат для зниження ухилів і зменшення донного та бічного розмивів. Поперечні загати влаштовують у руслі селевого потоку. Загати утримують деяку частину твердої складової

селевого потоку. Поперечні загати виконують у вигляді бетонних чи залізобетонних підпірних стін. Можна застосовувати габіонові підпірні стіни. Для пропуску води в нижній частині загат залишають отвори;

б) селеві потоки припливів основного русла перехоплюють греблями. Греблі зводять із місцевих кам'яних матеріалів способом спрямованого вибуху;

в) селевий потік на конусі виносу відхиляють убік і коротким каналом селеву масу скидають у найближчий тальвег, ріку чи озеро. Дно такого каналу укріплюють бетонними порогами, а береги – кам'яними стінками;

г) на всій площі водозбору насаджують дерева та чагарники з терасуванням схилів і відводом ґрунтових вод за допомогою дренажів, а атмосферних вод – за допомогою нагрітих каналів.

При будівництві доріг найбільш доцільно перетинати селеві потоки в межах транзитного русла, де є стійкі скельні береги і русло потоку, як правило, жорстко фіксоване. Русло перекривають мостом. Низ прогінної будови повинен підніматись над горизонтом проходження селевого потоку не менше, ніж на 1 м. Мости роблять із прогонами, які не стискають селевий потік.

Велику увагу потрібно надавати питанню прогнозування селів, що дасть змогу виявляти селенебезпечні ділянки та контролювати небезпеку, що може виникнути при селесходженні.

1.3. Дослідження селевих процесів та методики прогнозування

До фундаментальних робіт по селевій тематиці належать роботи, авторами яких є: Айзенберг М. М. [14, 13, 119], Боголюбова І. В. [17], Величко Б. Л. [21], Виноградов Б. Ф. [24, 22, 23], Гагошидзе М. С. [30], Гольдін Б. М. [119], Іванов Б. М. [119], Ломтадзе В. Д. [74], Перов В. Ф. [142, 103, 104], Херхеулідзе І. І. [146], Флейшман С. М. [141, 142, 143], Шеко А. І. [82, 157, 158, 159, 156, 81], Coussot P. [4], Takahashi T. [11]. Крім перелічених, до сучасних зарубіжних вчених, які займаються дослідженням селевих процесів належать: Хаджиев М. М. [144], Белая Н. Л. [16], Парамонов Д. А. [102], Черноморец С. С. [154, 155], Daniele De Wrachien [9], Martinez Cora [10] та ін.

В Україні проблемою вивчення селів почали займатися відносно недавно – з середини минулого століття. Кадастрові матеріали з Українських Карпат [56] дають уявлення про масштаби дослідницької роботи, яка була проведена вченими до 70-х років ХХ ст. Одна з найбільш відомих робіт з картографування селевих вогнищ - "Карта селенебезпечних районів СРСР масштабу 1:8000000», розроблена Проблемною лабораторією снігових лавин і селів географічного факультету Московського державного університету за редакцією В. Ф. Перова і С. М. Флейшмана в 1975 році [58].

Починаючи з 90-х років роботи з дослідження селів поступово стали скорочуватись. Моніторинг селів на заході України проводився ДГП "Західукргеологія", але після 1999 р. обсяг робіт зменшився.

На даний час дослідженням селевих явищ в Україні займаються: Адаменко О. М. [12], Іванік О. М. [54, 52, 53],

Кузьменко Е. Д. [70, 71, 151], Лук'янець О. І. [132], Оліферов А. М. [93, 96, 95, 97, 94], Рудько Г. І. [111, 113, 99, 98, 100], Сусідко М. М. [132, 130, 131, 18, 38, 129], Яковлев Є. О. [113] та ін.

Великого розвитку набули дослідження селевих процесів у Таврійському національному університеті ім. В.І. Вернадського (м. Сімферополь). Очолює їх уже понад п'ятдесят років доктор географічних наук, професор кафедри фізичної географії та океанології А. М. Оліферов. За його авторством і під його керівництвом написано не одну сотню праць, присвячених селям у Криму і в Карпатах, зокрема з останніх його робіт – монографія «Селевые потоки в Крыму и Карпатах» [96], «Карта селевої небезпеки в Криму» (рис. 1.6), інформаційна геосистема «Селі України», протиселева природно-господарська система та ін. Іншими сучасними вченими університету, які активно займаються дослідженням селів, є Клюкін А. А. [62, 61], Огороднік А. Н. [95, 97], Толстих Є. А. [61].

Прогнозування займає чільне місце в процесі моніторингу ЕГП, зокрема селевих процесів, це можна простежити за схемою комплексного моніторингу за ЕГП, яку зображено на рис. 1.7 [67]. Селеві явища виникають у результаті взаємодії значної кількості факторів, різні поєднання яких обумовлюють значне розмаїття селевих басейнів, вогнищ, форм акумуляції селевого матеріалу, типів і параметрів селевих потоків, елементів селевого режиму. Труднощі, що виникають при розгляді селеформуючих факторів, викликані не тільки складним характером селевих явищ, а й їх недостатньою вивченістю, що часто робить неможливим кореляцію селевих подій із одним із факторів або з їх групою.

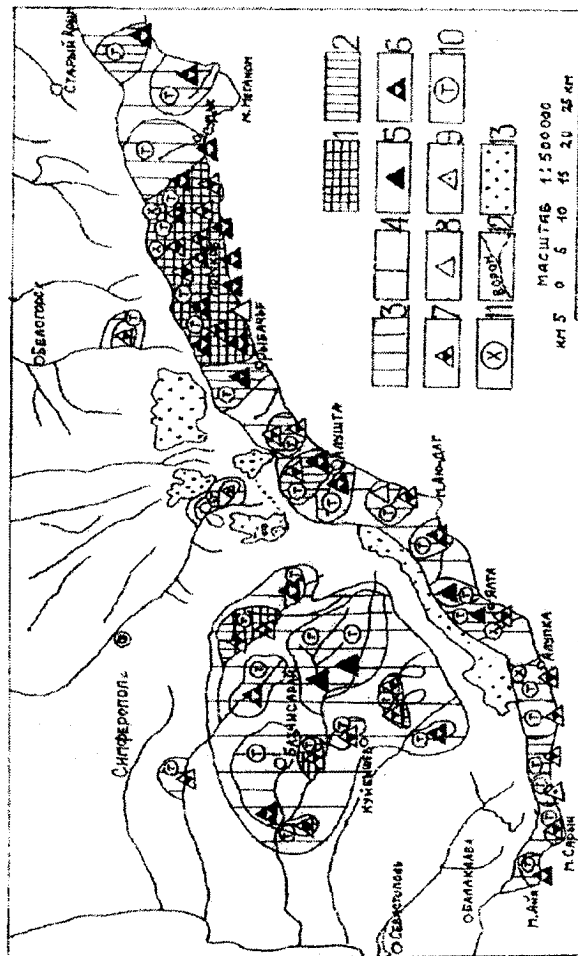
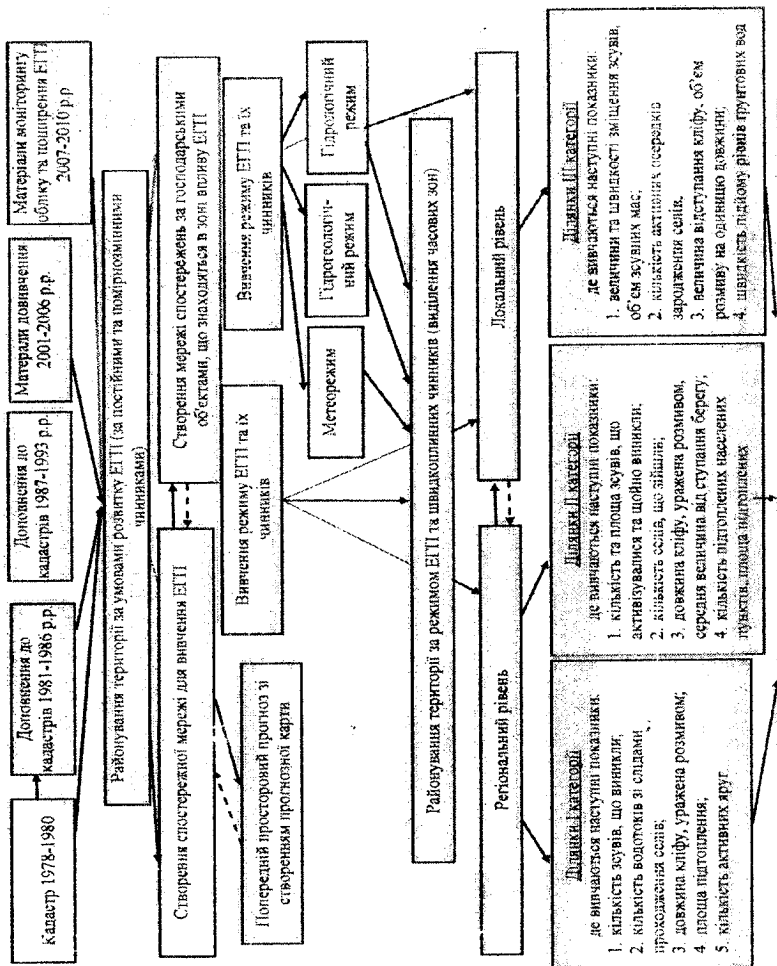


Рис. 1.6. Карта селевої небезпеки в Криму (за Оліферовим А.М.)

1 - сильний ступінь селевої небезпеки; 2 - середній ступінь селевої небезпеки; 3 - слабкий ступінь селевої небезпеки; 4 - потенційна селева небезпека; 5 - водно-крупноглибові селі; 6 - водно-мілкоголибові селі; 7 - водно-щебнисті селі; 8 - грязеглибові селі; 9 - грязещебнисті селі; 10 - дощові селі, що сходять у теплий період року; 11 - дощові селі, що сходять у холодний період року; 12 - річкові русла; 13 - території, позбавлені гідрографічної мережі (яйли).



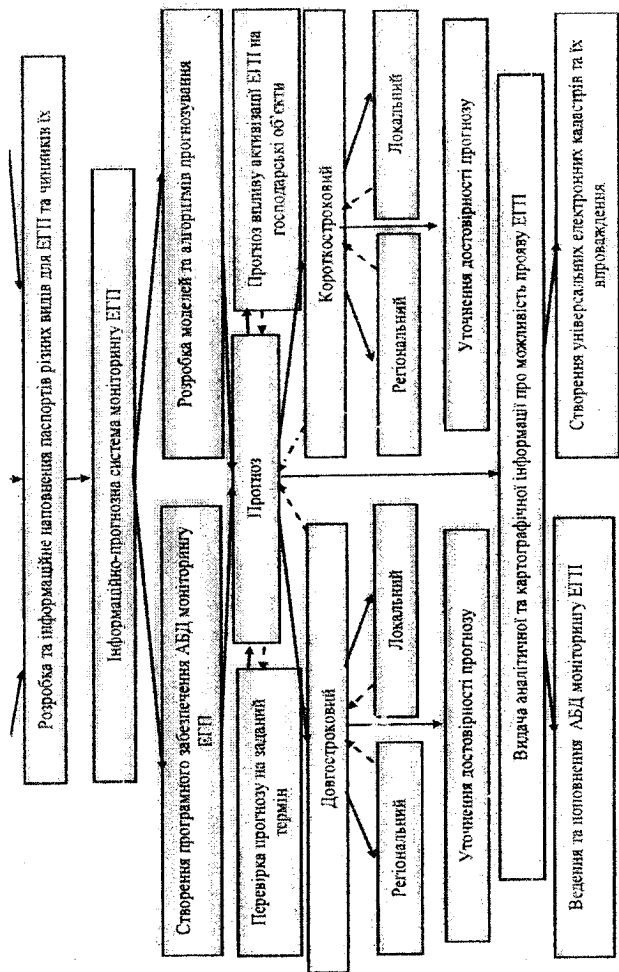


Рис. 1.7. Схема моніторингу екзогенних геологічних процесів, за [67]

До основних факторів виникнення та розвитку селевих явищ належать: тектоно-геоморфологічні умови, геологічна будова та літологія, кліматичні умови, обледеніння та сніжний покрив, сучасні екзогенні процеси, гідрологічні умови, ґрунтово-рослинний покрив і антропогенна діяльність.

Для території колишнього СРСР найбільш довгі (до 50 років) і найбільш повні ряди прояви селів існують тільки для двох регіонів: Середньої Азії та Кавказу [65]. Навіть у час, коли проводиться спеціальний облік проявів селів, не всі випадки селесходження можна врахувати. Це пов'язано з труднощами організації постійних спостережень і внаслідок цього відсутністю великого статистичного матеріалу про сходження селів за тривалий період.

У роботах, присвячених селевій проблематиці, автори, так або інакше, піднімають питання погоди і клімату як механізму реалізації селевого процесу. Велика кількість робіт присвячена пошукам зв'язків селепроявів із певними кліматичними і метеорологічними параметрами. Як правило, подібні дослідження проводили з метою короткострокового прогнозування селевої небезпеки на місцевому рівні, рідше для цілей фонових короткострокових і довгострокових прогнозів.

Велику кількість прогнозних методик, що засновані на зв'язках розвитку селів із кліматичними параметрами, створено для територій, де випадки селесходження мають катастрофічний характер (наприклад для високогірних територій Азії).

Зокрема відмічені зв'язки: активності гляціальних селів Середньої Азії з температурними параметрами [23]; селів низької щільності в аридних низькогір'ях Середньої

Азії (басейн р. Сурхандарі) із зливною діяльністю [114]; дощових селів у Вірменії з інтенсивністю та тривалістю злив і попереднім зволоженням території [43]; масового сходу "гляціально-зливових" селів на Центральному Кавказі з сумарною температурою повітря, опадів теплого періоду та повторюваністю злив більше 20 мм/добу [117]; дощових селів Чорноморського побережжя Кавказу із загальною звоженістю та характером зливної діяльності території [59], гляціальних селів із динамікою зледеніння [122]; дощових селів у районі траси БАМ із повторюваністю добових сум опадів певної інтенсивності [59]; літніх селепроявів на о. Сахалін із проходженням опадів різної інтенсивності [122]. У роботі [116] наведена методика визначення критичних значень п'яти метеопредикторів, після досягнення чи перевищення нижньої межі яких виникала селенебезпечна ситуація у високогірних районах Центрального Кавказу.

Методикою, яка широко використовується при довгостроковому прогнозі селів, є методика аналізу циклічності селевих процесів по частинам 11-річного сонячного циклу, розроблена А. І. Шеко [157, 81]. Основні положення її наступні. Амплітуда 11-річного сонячного циклу, яка виражена в числах Вольфа, ділиться навпіл, через її середину проводяться перпендикуляри до перетину з гілками росту та спаду. Із точок перетину опускаються перпендикуляри на вісь абсцис і визначається кількість років у кожній чверті. Порядок нумерації чвертей починається від початку циклу: на гілці росту знаходяться I і II чверті, на гілці спаду – III і IV. Для кожної чверті визначається середньорічна величина параметру за формулою

$$P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad (1.1)$$

де $\sum_{i=1}^n P_i$ - сума всіх значень показника за роки, що входять у дану чверть; n - кількість років у даній чверті.

Далі будується графік змін цього показника за чвертями, максимумами і мінімумами, гілки росту і спаду. Довжина максимуму визначається як сума II і III чвертей, мінімуму - як сума I і II чвертей, спаду - як сума III і IV чвертей.

На побудованих графіках за приуроченістю максимумів до різних чвертей можна виділити декілька порядків циклів. До першого порядку відносяться цикли, максимуми яких знаходяться в межах одного чи різних 11-річних сонячних циклів, але розділені вони між собою тільки однією чвертю. До другого порядку належать цикли, максимуми яких розміщені в двох сусідніх сонячних циклах і розділені між собою часом, довжиною більше однієї чверті сонячного циклу. Циклами третього порядку рахуються ті, максимуми яких розділені повним 11-річним сонячним циклом. Цикли четвертого порядку (максимуми) розділені двома повними 11-річними сонячними циклами, а п'ятого порядку - трьома.

У якості прикладу на рис. 1.8 наведені графіки прояву селів, побудовані для Кавказу в цілому.

Велика увага питанню внутрішньорічного розподілу селів приділена в роботі [134]. На основі зібраного автором фактичного матеріалу за датами сходу селів у Таджикистані, розглянуто процентний розподіл селів за місяцями року для селевих явищ різного генезису.

розрахований для річкових басейнів. Автор розробив графоаналітичний метод диференціації річкових басейнів із метою пов'язання часових меж селенебезпечного періоду з висотою селевого басейну.

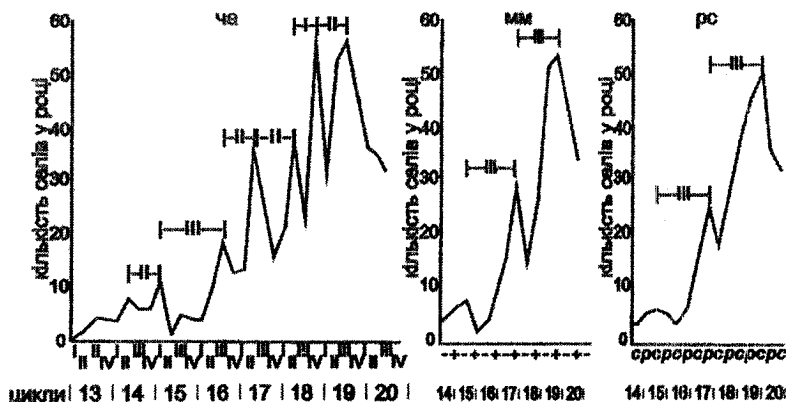


Рис. 1.8. Графіки прояву селів за частинами 11-річного сонячного циклу на Кавказі. ЧА – за чвертями, ММ – максимумами, мінімумами, РС – гілками росту і спадання. Римськими цифрами позначено порядки циклів

Показано, що часові межі та тривалість селенебезпечного періоду в межах річкового басейну залежать від висотної зони.

Вищенаведені та багато інших методик прогнозування селів базуються на використанні статистичних методів при проведенні аналізу величини впливу кожного з факторів, встановленні кореляційних зв'язків між ними та розвитком селевих процесів.

Так, у роботах [4, 11] при прогнозуванні розвитку селевих потоків використані емпіричні статистичні методи, лінійні та множинні регресії.

Запропонована у [7] китайськими вченими інформаційна модель оцінки селевої небезпеки, крім статистичного аналізу метеорологічних параметрів, використовує логістичні регресії. За твердженням авторів, модель може застосовуватись для всіх видів ЕГП, зумовлених атмосферними опадами. Проблемою ефективності такої моделі є відсутність прив'язки до конкретних селесходжень, оскільки модель відображає лиш загальну тенденцію селеактивності.

Протягом останніх 10–15 років спостерігається істотна зацікавленість використанням методів штучного інтелекту для розв'язання цілого ряду прогностичних задач, наприклад [6]. Невід'ємною частиною цього процесу є застосування штучних нейронних мереж. Дослідження з використанням нейромереж зворотнього поширення похибки та генетичних алгоритмів наведені у статтях [3, 1, 2]. У них запропоновано методику побудови короткострокових прогностичних моделей селесходження, заснованих на використанні штучного інтелекту для гірської території східного Тайваню. Для аналізу використано сім факторів: довжина струмка, середній ухил, ефективна площа водозбору, коефіцієнт форми, середній розмір зерна ґрунту, кількість накопичених ефективних опадів і ефективна інтенсивність опадів. Середній коефіцієнт успішного передбачення 93,82 % показує, що представлена модель із сімох значущих факторів може забезпечити стабільний і надійний результат для прогнозування селів.

У роботі [79] запропоновано скласти короткострокові або оперативні прогнози для високогірної зони Центрального Кавказу на базі картографічної моделі районування. При складанні таких прогнозів авторами

велику роль надано аналізу стану компонентів, що визначають розвиток селевого процесу (міцності та деформаційних властивостей гірських порід на схилі), гідрометеорологічних умов. Основними ознаками формування селевих потоків названі стійкі тривалі підвищення температури у високогірних областях і високе положення нульової ізотерми.

Момент зародження селю пропонується визначати за термодинамічними параметрами зливи, що включають у себе нижченаведене.

Добову кількість опадів, мм

$$X_{кр} < X < 86, \text{ де } X_{кр} = 20 \text{ мм.}$$

Температуру повітря в день з опадами, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{кр} < t < 14, \text{ де } t_{кр} = 9^{\circ}.$$

Максимальну інтенсивність зливи, мм / хв:

$$i_{max\ кр} < i_{max} < 0,5, \text{ де } i_{max\ кр} = 0,1 \text{ мм.}$$

Злива служить імпульсом до сходу високогірних селів в умовах, коли пухкі маси на схилах готові до руху. До стану граничної рівноваги пухкого матеріалу на схилах призводить його перезволоження через талі і дощові води. Це досягається при нижченаведених значеннях температурного режиму.

Набір позитивних температур від дати стійкого переходу температури через 0 до дати з інтенсивним зливою, $^{\circ}\text{C}$

$$Q_{кр} < Q < 1380, \text{ де } Q_{кр} = 670 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Сума опадів за той самий період часу, мм

$$W_{кр} < W < 450, \text{ де } W_{кр} = 180 \text{ мм.}$$

Сума добових температур за 6 днів до сходу селю, $^{\circ}\text{C}$

$$T_{кр} < T < 99, \text{ де } T_{кр} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Для зародження селю необхідно, щоб усі шість факторів досягли критичного рівня або перевищили його до єдиного моменту часу.

Для підвищення справджуваності оперативного прогнозу будується модельна функція F , що характеризує стан рівноваги матеріалу на поверхні схилу, так що при перевищенні деякого критичного значення $F_{кр}$ відбувається наростаючий процес сходження селю, причому тим більш ймовірний і активний, чим більше величина $(F - F_{кр})$.

Однак, навіть досягнення всіма перерахованими факторами критичної області для початку селевого процесу в один і той самий момент часу є тільки необхідною, але не достатньою умовою і характеризується досить низьким рівнем справджуваності прогнозу - близько 50 %. Це дозволяє зробити висновок про те, що запропонована авторами лінійна регресійна модель прогнозування має слабкі прогностичні властивості.

У [46] наведено методику дослідження прогнозного фону селевої небезпеки. Запропоновано використовувати імовірісно-детерміновані характеристики та параметри навколишнього середовища, що формують прогностичний фон селенебезпечності (сукупність зовнішніх щодо до об'єкту прогнозування умов, істотних для вирішення завдання прогнозу) і враховують як закономірні, відомі, так і випадкові (імовірнісні) фактори.

Запропонована концепція оперативного прогнозування селевої небезпеки базується на детальному вивченні та комплексному використанні інформаційного масиву, що складається з трьох основних інформаційних блоків, що реалізують імовірісно-детермінований підхід до оцінок початкових і вихідних даних, які визначають формування селевої небезпеки (рис. 1.9).

Запропонована методика вирізняється поміж інших урахуванням великої кількості факторів, що вказує на комплексний підхід до задачі прогнозування.

Значний внесок у дослідження селевих явищ, у тому числі вирішення задачі прогнозування для Карпатського регіону, зроблено Рудьком Г. І. і Адаменком О. М. [12, 111, 113]. У розвитку методології Шеко А. І. ними розроблені методики регіонального і локального прогнозу селів. З урахуванням територіальної особливості виконані регіональний і локальний прогнози селенебезпеки в межах Карпатської гірськоскладчастої області, оснований на аналізі геологічних особливостей території та кліматичних параметрів. Процедура довгострокового прогнозу базується на встановленні сезонів селепроявів. Довгостроковий прогноз селів для Карпатської гірськоскладчастої області складений на основі аналізу 11-річного сонячного циклу та інтегральних кривих річних сум опадів і опадів за теплий період, який відображає загальну тенденцію зволоження (рис. 1.10). Відмічено, що основні селепрояви приурочені до піків чисел Вольфа. Виявлено 14-річну періодичність, плюс-мінус два роки. Локальний прогноз виконаний для селенебезпечних водотоків, селі в яких формуються в результаті транспортного процесу. Прогнозна оцінка полягає у визначенні кількості опадів, необхідна для виникнення селів у конкретних інженерно-геологічних умовах (рис. 1.11).

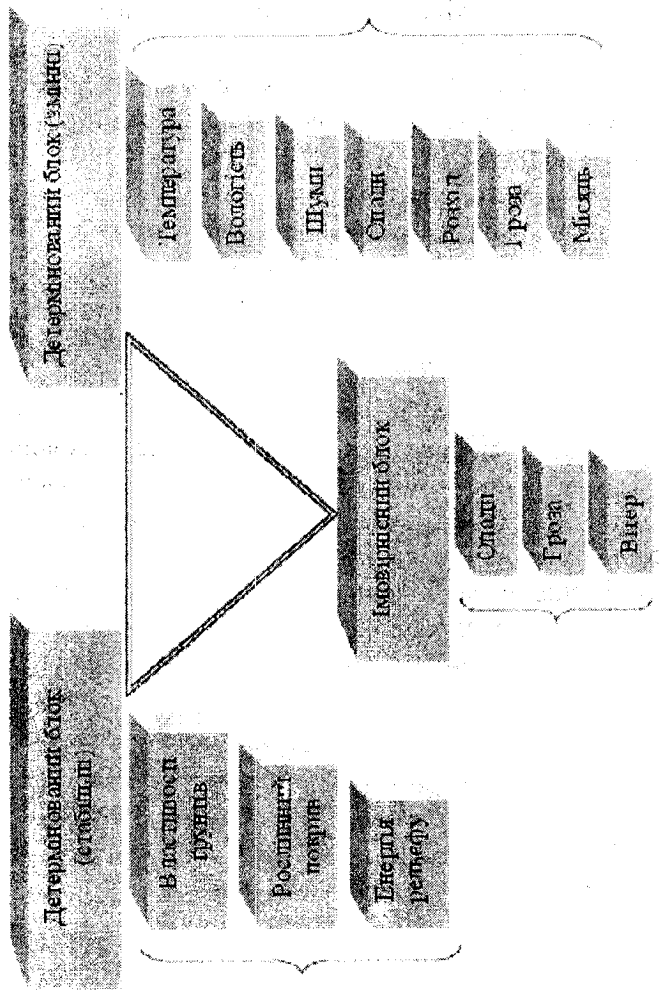


Рис. 1.9. Сукупність основних параметрів навколишнього середовища, які складають прогнозний фон процесу селеформування, за [46].

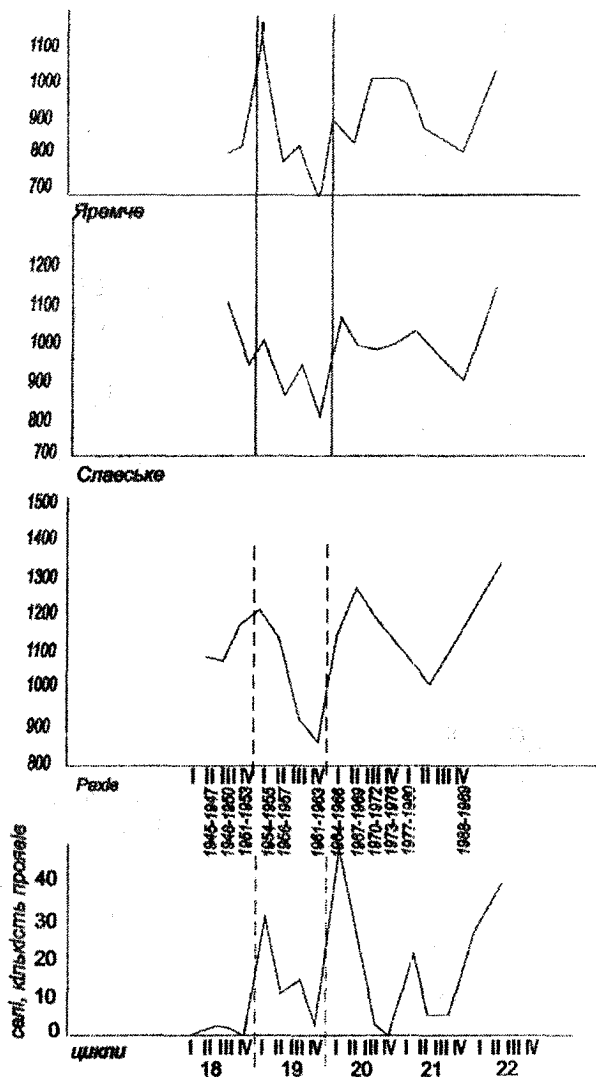


Рис. 1.10. Графік взаємозв'язку річних сум опадів з кількістю сєлів у Карпатах у межах 11-річного циклу сонячної активності

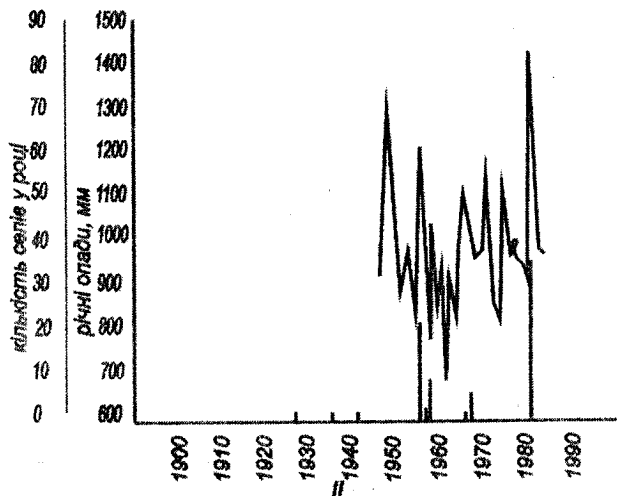
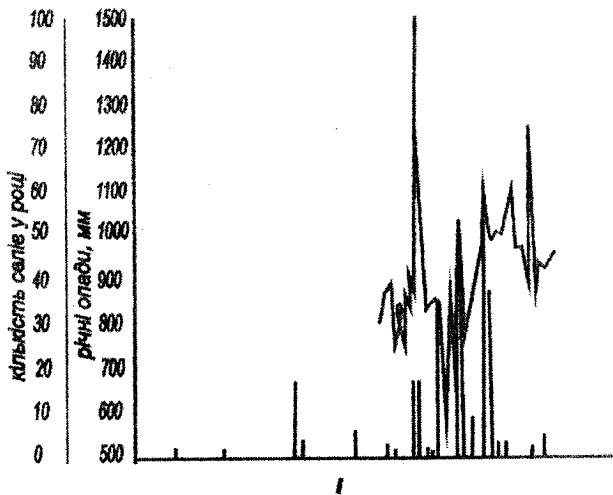


Рис. 1.11. Кількість зареєстрованих селів за роками по басейнах річок Прут (I) і Дністер (II) за XX століття

Подібний комплексний підхід простежується в методиці ймовірнісного прогнозування селевих явищ, яка розроблена українськими вченими М. М. Сусідком і О. І. Лук'янець [130].

За нею оцінювання ймовірності формування селевих явищ ґрунтується на даних про водоутворення (опади, сніготанення) у виділених часткових басейнах і часткових площах, які характеризуються певними орографічними умовами. Такий підхід дозволяє отримувати оцінки можливості та інтенсивності селів із просторовою деталізацією. Основні ланки технології прогнозування селепрояву такі: обчислення інтенсивності водоутворення на водозборі, оцінювання просторового розподілу інтенсивності водоутворення, визначення ймовірності виникнення селевих явищ.

Основою для проведення аналізу селевих процесів у ГІС є формування відповідної бази даних. У [27] наведено процес створення автоматизованої бази даних моніторингу селевого процесу на державному рівні.

Авторами розроблено три бази даних для гірських територій України – "селевий водотік" (з характеристикою 50 водотоків), "селевий басейн" (12 басейнів), "селевий район" (53 райони). Для кожної з них розроблено структури атрибутивних таблиць у СУБД Oracle.

Селевий водотік є найнижчою ланкою - регіональним рівнем. Селевий район належить до державного рівня. Структури баз даних «селевий водотік» і «селевий район» із переліком атрибутивних таблиць наведено в табл. 1.4

Таблиця 1.4. Структура бази даних «селевий водотік»

№	Назва поля
1	S_1. Загальні відомості
2	S_1_1. Селевий басейн
3	S_1_1_1. Селевий район
4	S_1_2. Ділянка спостережень за селями
5	S_1_3. Річковий басейн
6	S_1_4. Адміністративний район
7	S_1_5. Координати
8	8 S_1_6. Метеостанції
9	S_1_7. Гідропости
10	S_2. Параметри селевого водотоку
11	S_3. Місяць і рік отримання даних
12	S_3_1. Характеристика селю
13	S_3_1_1. Координати точки спостереження
14	S_3_2. Параметри селю
15	S_3_3. Конус виносу
16	S_3_3_1. Параметри конусу виносу
17	S_3_4. Зона зародження селю
18	S_3_5. Походження селю
19	S_3_6. Тип селю
20	S_3_7. Речовий склад твердої складової
21	S_3_8. Гранулометричний склад твердої складової
22	S_3_9. Тип осередків зародження
23	S_3_10. ЕГП, що пов'язані з селями
24	S_3_11. Фактори селевого процесу
25	S_3_12. Об'єкти під загрозою
26	S_3_13. Протиселевий захист
27	S_4. Додаток

Таблиця 1.5. Структура бази даних «селевий район»

№	Назва поля	Ідентифікатор
1	2	3
S_1. Загальні відомості		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
5	Рік початку спостереження	RPS_S
7	Площа , кв км	Plocha_S
8	Абсолютні позначки території, від, м	APT_V_S
9	Абсолютні позначки території, до, м	APT_D_S
11	Нахил річок, від, м/км	NR_VID_S
12	Нахил річок, до, м/км	NR_DO_S
13	Густота річкової мережі, від, км/кв км	GR_VID_S
14	Густота річкової мережі, від, км/кв км	GR_DO_S
15	Кількість селевих водотоків, шт.	KIL_VOD_S
16	Довжина селевих водотоків, від, км	D_VID_S
17	Довжина селевих водотоків, до, км	D_DO_S
20	Геологічний вік та літологія порід	GV_LP_S
S_1_1. Селевий басейн		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Селевий басейн	K7701_BS
S_1_2. Ділянка спостережень за селями		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Ділянка спостережень за селями	K7702
S_1_3. Річковий басейн		
1	Код області	K1002

Продовження табл.1.5

1	2	3
3	Селевий район	K7701
4	Код річкового басейну	K6076
S 1 4. Адміністративний район		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701
3	Адміністративний район	K1002
S 1 5. Координати		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701
3	№ координат	N KOORD S
4	Довгота, градуси	YG V S
5	Довгота, мінути	YM V S
6	Довгота, секунди	YS V S
7	Широта, градуси	XG V S
8	Широта, мінути	XM V S
9	Широта, секунди	XS V S
S 1 6. Метеостанції		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701
3	Код метеостанції	K6102
S 1 7. Гідропости		
1	Код області	K S
2	Селевий район	K7701
3	Код гідропоста	K6105
S 3. Місяць і рік отримання даних		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701

Продовження табл. 1.5

1	2	3
3	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
4	Частота проходження селів	K 7704
5	Інтенсивність селю	K 7714
6	Кількість водотоків, де зійшли селі, шт.	KILK SV
7	Кількість випадків проходження селів, шт.	Z_KIL_S
S 3 2. Параметри селю		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701
3	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
4	Параметри селю, від	K7710
5	Параметри селю, до	K7710
S 3 3. Конус виносу		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701
3	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
4	Кількість конусів виносу, шт. К	IL KONV S
S 3 3 1. Параметри конусу виносу		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701
3	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
4	Номер конусу виносу	N KONV S
5	Параметри конусу виносу, від	K 7713
6	Параметри конусу виносу, до	K 7713
S 3 4. Зона зародження селю		
1	Код області	K1002
2	Селевий район	K7701

Продовження табл. 1.5

1	2	3
3	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
4	Зона зародження селю	K 7709
S 3 5. Походження селю		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
5	Походження селю	K 7703
S 3 6. Тип селю		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
5	Тип селю	K 7705
S 3 7. Речовий склад твердої складової		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
5	Речовий склад твердої складової	K 7706
S 3 8. Гранулометричний склад твердої складової		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
5	Гранулометричний склад твердої складової	K 7707
S 3 9. Тип осередків зародження		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
5	Тип осередків зародження	K 7715

1	2	3
S_3_10. ЕГП, що пов'язані з селями		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
7	ЕГП, що пов'язані з селями	K_GPCN (K7109)
S_3_12. Об'єкти під загрозою		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
7	Об'єкти під загрозою	K_POZ (K7103)
S_3_13. Протиселевий захист		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Місяць і рік отримання даних	MIS_RIK_S
7	Протиселевий захист	K_7716
S_4. Додаток		
1	Код області	K1002
3	Селевий район	K7701
4	Номер звіту	FNDZAG

З метою короткострокового прогнозування селенебезпеки фахівцями УкрНДГМІ створено карту селевої небезпеки гірських районів України, на якій селенебезпечні території ранжовані залежно від типів селевих процесів. Обробка інформації в моделі дає можливість сформулювати прогнозні карти селевої активності при різних варіантах прогнозу інтенсивності опадів. На рис. 1.12 зображено прогнозну карту селевої активності у вигляді, як вона представлена в роботі [49].

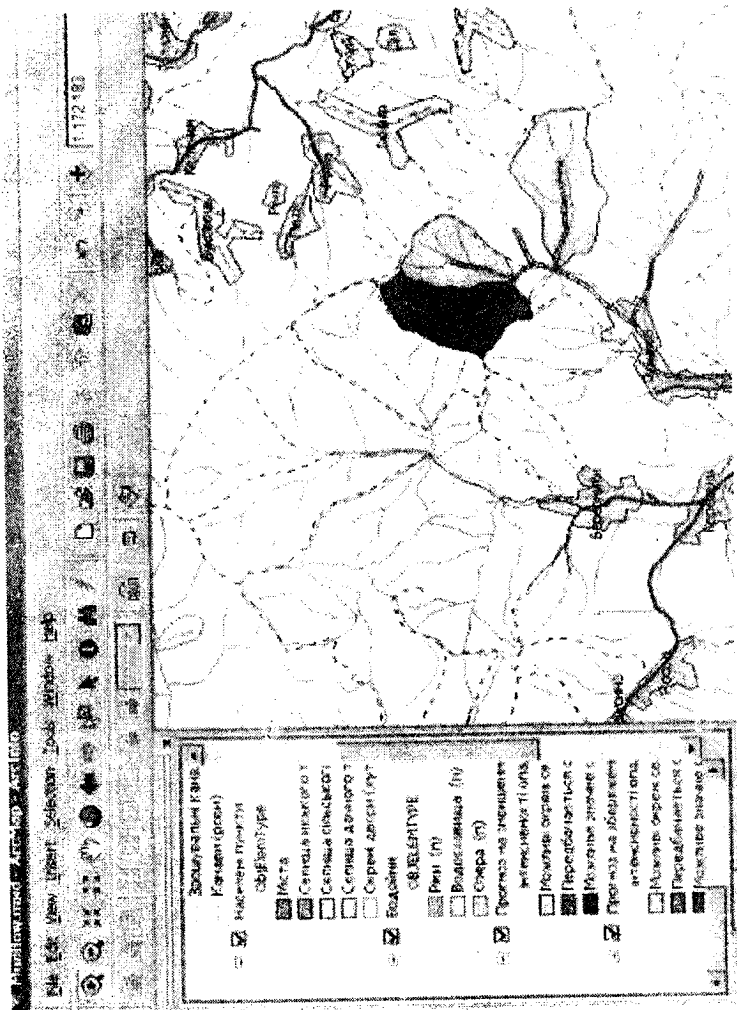


Рис. 1.12. Прогнозна карта селевої активності, за [49].

Суттєві дослідження з визначення емпіричних закономірностей дії селевих потоків з їх наступним використанням в режимі ситуативного та прогнозного моделювання виконано Іванік О. М. в її дисертаційній роботі [63] та ряді публікацій [52, 53, 51]. Кінцевою метою досліджень є кількісний прогноз силового впливу селевого потоку на різноманітні об'єкти чи споруди з визначенням ряду параметрів селевого потоку або селевого паводка. Геолого-геоморфологічні дані про площі водозбору, параметри різнопорядкових річкових долин, характеристики потенційно селеутворюючих відкладів, що необхідні для такого прогнозу, входять до регіональних баз даних або відображаються на спеціальних картах регіону, у тому числі прогнозних.

Власне Іванік О. М. запропоновано визначення головного динамічного параметра селевого потоку – його швидкості, а також глибини, пов'язаних із характером русел і долин, кількістю опадів, режимом стоку, витратами потоку.

У результаті запропоновано алгоритм та написано програмний модуль для розрахунку навантажень, що передаються на інженерну споруду під впливом зовнішнього середовища (М. В. Лавренюк).

Даний модуль дозволяє проводити моделювання впливу селевих потоків, сформованих у межах Карпатського регіону, на техногенні об'єкти різного призначення з урахуванням параметрів як самих потоків, так і геолого-геоморфологічних і гідрометеорологічних даних. Моделювання спрямоване на обґрунтування проведення заходів із попередження та обмеження негативної дії селів у Карпатах.

Можливість отримання якісної та вчасної вихідної інформації для прогнозування селів цілком залежить від рівня розвитку мереж спостережень за ними. На жаль, гідрометеорологічна служба України, у безпосередні обов'язки якої входить забезпечення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій (УІАС НС) необхідними даними гідрометеорологічного моніторингу, не має достатньої кількості станцій спостережень.

Так на території Закарпатської області розташовано 8 метеостанцій, 2 автоматизованих та 36 неавтоматизованих гідропостів, зв'язок із якими під час розвитку екстремальних метеорологічних ситуацій, як показує практика, не гарантований [55]. До прикладу, за даними United States Geological Survey (USGS), тільки на території штату Північна Дакота, що регулярно потерпає від паводкового затоплення, розташовано біля 6000 автоматизованих станцій комплексних гідрометеорологічних спостережень.

Опрацьована література свідчить, що питанню довгострокового просторово-часового прогнозуванню селевої небезпеки для Карпатського регіону присвячено невелику кількість досліджень. Хоча, як зазначено в роботі [37], довгострокове прогнозування є необхідним для вивчення особливостей процесів селеутворення певної території в повному об'ємі. Крім того, останнім часом такі прогнози стали ще актуальніші. Це пов'язано з екологічними проблемами використання і охорони геологічного середовища, мінімізації життєвих ризиків життя населення, раціонального планування освоєння нових територій.

Розділ 2. РОЗВИТОК СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СЕЛЕУТВОРЕННЯ

2.1. Особливості селевих процесів Карпат

Територію Карпат поділяють на три селенебезпечних райони: східний, північно-східний, південно-західний (рис. 2.1). Східний район відноситься до басейну Дністра. Південно-східний селевий район розташований на території басейнів річок Пруту та Серету. Південно-західний селевий район охоплює басейн Тиси. Найбільш селенебезпечним вважається останній, у якому знаходиться найбільша кількість селевих об'єктів і селепрояви відбуваються найчастіше [137].

Річний винос матеріалу селевими потоками у Карпатському регіоні сягає 500-2400 м³/км². У переважній більшості (90 %) випадків об'єм твердих нагромаджень окремого селю становить до 10-25 тис. м³ і в 10 % випадків може досягати 25-100 тис. м³. Насиченість твердої фази селю досягає 350-450 кг/м³ води. Особливо часто селі спостерігаються в південно-східній частині Закарпаття. На водозборах річок Чорної та Білої Тиси, Шопурки, Косівської, Тересви вони проходять майже щороку, а інколи і кілька разів на рік. Ця територія належить до найнебезпечнішого в Українських Карпатах південно-західного селевого району, що охоплює південні й південно-західні схили Верховинського, Полонинського, Свидовецького та Черногорського хребтів.

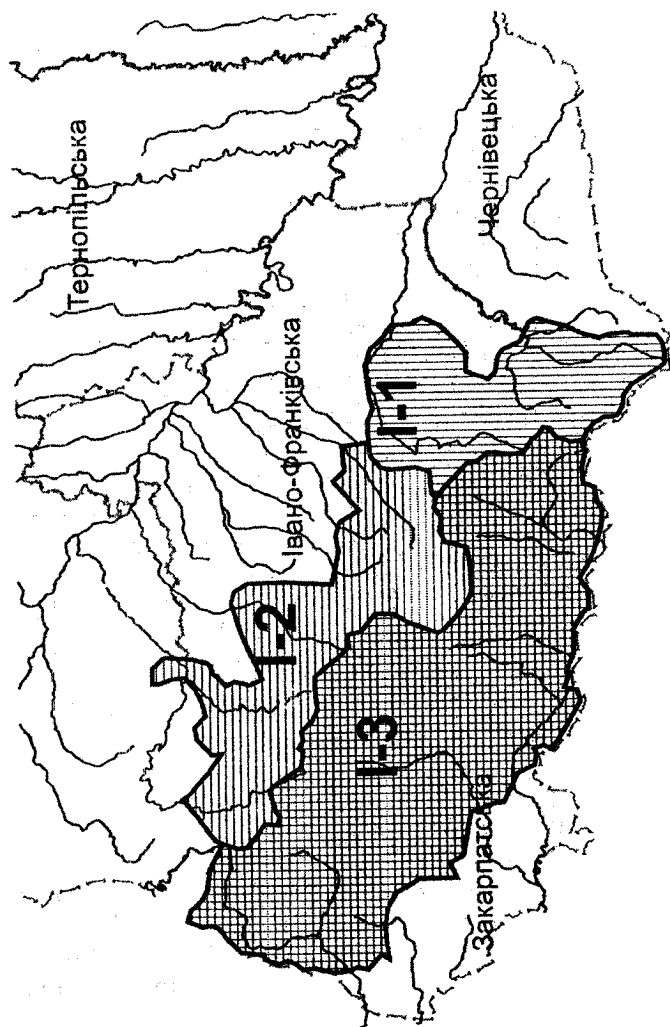


Рис. 2.1 Селенебезпечні райони Карпатського регіону: I-1 – східний (басейн р. Прут), I-2 – північно-східний (басейн р. Дністер), I-3 – південно-західний (басейн р. Тиса)

Цей район умовно можна поділити на дві частини. Одна з них, східна, характеризується більшими висотами, значною розчленованістю рельєфу і різкими його формами, що сприяє формуванню селів. У другій, західній частині селепрояви не мають широкого розвитку.

На рис. 2.2 наведено дані про поширення різних типів селевих процесів на території Карпат і їх активність. У Карпатах переважають селі водокам'яного типу [137].

Серед природних факторів, які обумовлюють селеві явища в Українських Карпатах, виділяються: різка розчленованість басейнів гірських рік, значне падіння русел, наявність крутих схилів, слабка денудаційна стійкість флішових товщ, значна потужність пухкого матеріалу на схилах гір, поширення безлісних площ, великий поверхневий стік.

Небезпека виникнення селевих потоків у Свидовецькій гірській групі, крім того, посилюється наявністю в Полонинській і Приполонинській зонах водозборів із крутими схилами площинного стоку. Нижче селеві потоки перетинають обвальні-осипні схили. Кількість уламкового матеріалу зростає за рахунок площинного змиву, посиленого лісовими вирубками. Кам'яні осипи та схилі розчипи, що особливо характерні для Горган, також є значним джерелом живлення селевих потоків.

Селеві явища в Українських Карпатах мають регіональні особливості. Найбільш небезпечним вважають Свидовецько-Горганський район, де розвинені воднокам'яні та грязе-кам'яні потоки.

Живлення їх посилюється обвальними-осипними схилами, а у конусах виносу крупноуламковий матеріал із флішових пісковиків досягає в діаметрі 2-3 м.

У Besкидах і в низькогір'ї Зовнішніх Карпат селенебезпечними часто є яри, що розчленовують річкові тераси, а також невеликі гірські потоки. Тут переважають водно-кам'яні і водно-грязе-кам'яні селі. Останні посилились у басейні гірського Дністра внаслідок розширення орних земель на схилах. У Покутсько-Буковинських Карпатах майже щороку виникають водно-кам'яні і грязе-кам'яні селі, що іноді посилюються обвальнo-зсувними процесами (верхів'я р. Пістинька). У передгір'ях спостерігаються грязеві селі.

На південно-західних схилах Полонинського хребта водно-кам'яні селі виникають у невеликих гірських потоках у верхів'ях р. Уж, а також у верхній частині р. Боржава, де водозбірні басейни, які розміщені в зоні полонин, займають великі площі та відзначаються значною крутизною схилів. Конуси виносу складені переважно грубоуламковим матеріалом пісковиків лютської світи.

У межах Рахівського кристалічного масиву селеві явища мають водно-кам'яний характер і обумовлені насамперед значною крутизною схилів і великим падінням русел потоків, що впадають у Тису. Селенебезпечність ряду інших потоків басейнів інших річок обумовлена комплексом ярово-ерозійних, зсувних, обвальних і суфозійних процесів.

У табл. 2.1 наведені дані про типи селів, причини їх виникнення та зони зародження [48].

Основні статистики геометричних і геоморфологічних параметрів селів Карпатського регіону (кількість селепроявів – 237) наведені в табл. 2.2, а їх розподіли – на рис. 2.3-2.6.

Таблиця 2.1. Типи селів, причини їх виникнення і зони їх зародження

Тип селю	Число випадків		
	Південно-західний район (басейн р. Тиса)	Східний район (басейн р. Прут)	Північно-західний район (басейн р. Дністер)
Типи селів			
Водно-кам'яний	48	90	56
Водо-грязе-кам'яний	5	1	2
Грязе-кам'яний	30	50	13
Грязевий	1	-	9
Причини утворення			
Злива	49	78	42
Дощ	30	61	31
Сніготанення	4	-	-
Прорив загат	1	2	-
Зони зародження			
Гірська	9	12	4
Середньогірська	68	129	67
Низькогірська	7	-	2

Таблиця 2.2. Основні статистики геометричних та геоморфологічних параметрів селів

Параметр	Середнє значення	Медіана	Мін. значення	Макс. значення	С.к.в.
Абсолютна відмітка, м	619,15	623,56	125,62	1108,61	160,88
Кут укосу схилу, град.	12,50	9,38	0,51	44,06	10,85
Довжина конуса виносу, м	54,78	50,00	10,00	400,00	44,77
Ширина конуса виносу, м	43,43	30,00	5,00	170,00	34,97
Площа конуса виносу, кв. м	1515,88	750,00	25,00	15625,00	2188,35
Потужність пролювію, м	1,85	1,50	0,30	6,00	1,23
Об'єм матеріалу, тис.куб.м	1,57	0,56	0,01	17,00	2,61

За механізмом процесу у Карпатах розрізняються три генетичних типи селів: зміщення, ерозійно-зсувний і ерозійно-транспортний. Дана класифікація найбільш повно відображає механізм зародження селевих потоків і специфіку первісного зрушення твердої фази.

Ерозійно-зсувний механізм селевого процесу спостерігається на струмках з ухилами русла порядку 10 - 30° і досить широко розвинений у Карпатах.

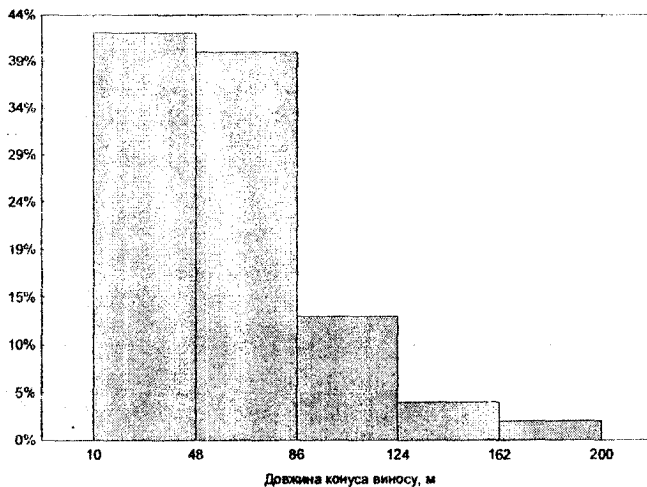


Рис. 2.3 Гістограма розподілу значень характеристики «довжина конусу виносу»

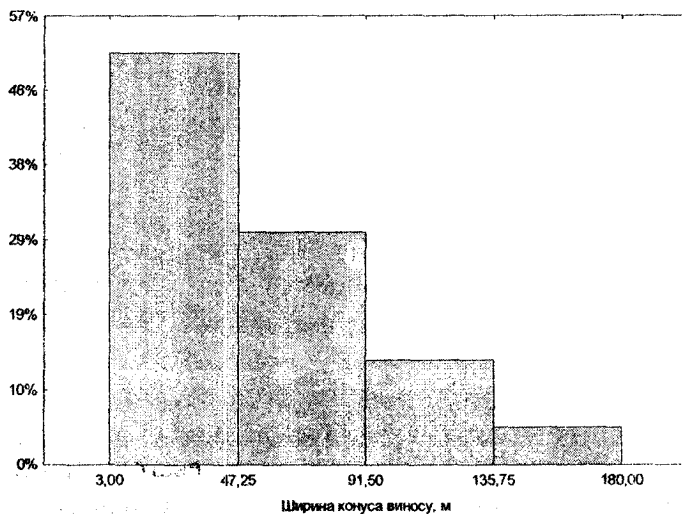


Рис. 2.4 Гістограма розподілу значень характеристики «ширина конусу виносу»

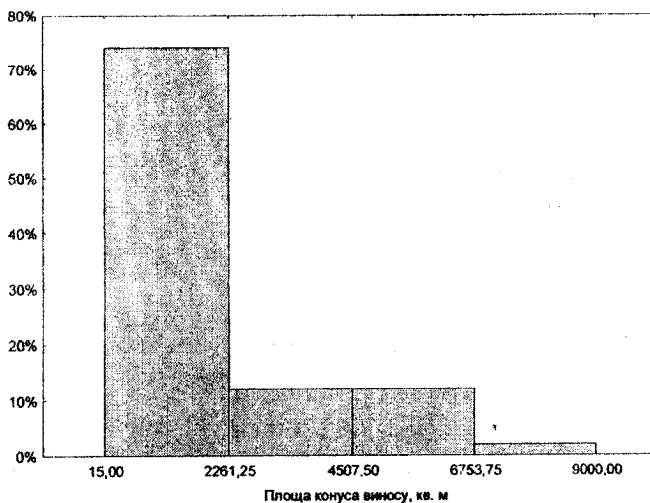


Рис. 2.5 Гістограма розподілу значень характеристики «площа конуса виносу»

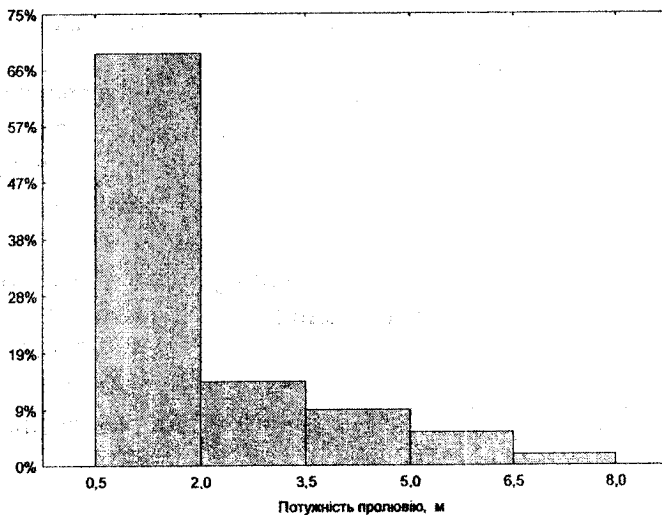
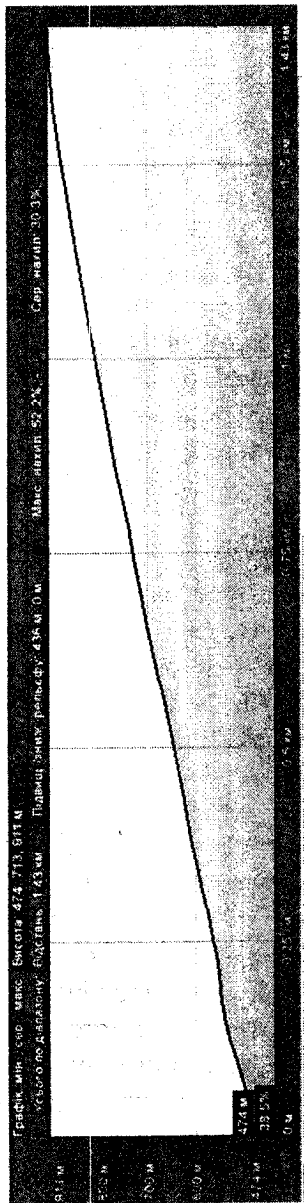


Рис. 2.6 Гістограма розподілу значень характеристики «потужність пролювію»

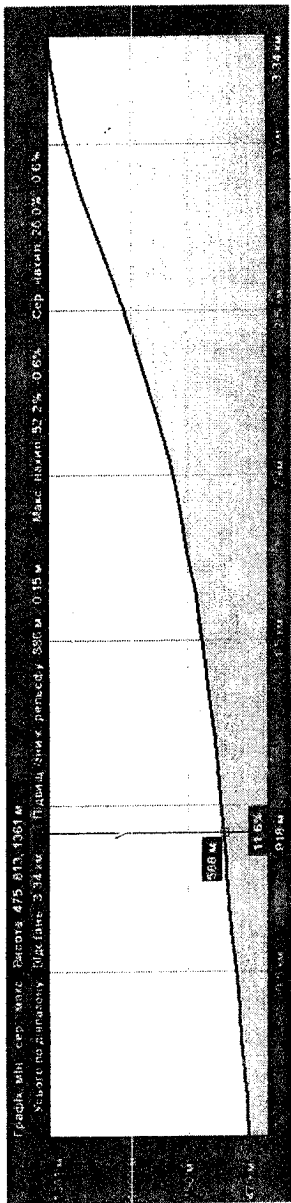
Прийнято вважати, що ерозійно-зсувний процес є результатом взаємодії водного потоку та потенційних селевих мас і являє собою послідовне зрушення окремих порцій породи. В умовах Карпат відбувається послідовна взаємодія спочатку водного потоку й потенційних селевих мас, а потім вже селевого потоку з ними, тому тут найбільш широко розповсюджений механізм селевого процесу.

Ерозійно-транспортний механізм селевого процесу найбільше широко розповсюджений у Карпатах. При ерозійному характері зародження селів вивільнення часток, зрушення з місця й перенесення здійснюються водою. Встановлено, що басейни, де селі формуються за рахунок транспортного процесу, мають опуклі або близькі до опуклих поздовжні профілі, при цьому селеві осередки приурочені до їх середніх та нижніх частин. Басейни, де селі формуються завдяки лише зсувним процесам, мають увігнуті, або близькі до таких профілі (рис. 2.7)

Особливості природних умов Карпат позначаються на характері продуктів руйнування гірських порід. Тут характерні три основних види процесів, що визначають розвиток вогнищ зародження селів (рис. 2.8). Потенційні селеві маси в основному являють собою вітклади зсувно-гравітаційного зносу, які характеризуються рухомістю та пухкістю. Це пов'язане насамперед зі значною кількістю опадів, які випадають на досліджуваній території та підтримують уламковий матеріал у стані постійного зволоження. Так, вологість дрібнозему, на різних ділянках Українських Карпат, змінюється від 10 до 40 %, у той час як вологість уламкового матеріалу становить 12-13 %. Таким чином, природна вологість майже завжди сприяє виникненню руху сипких мас.



а)



б)

Рис. 2.7 Типові профілі селевих басейнів транспортного (а) і зсувного (б) типу селевих процесів

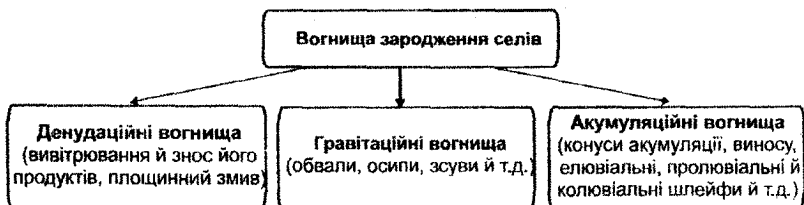


Рис. 2.8. Класифікація вогнищ зародження селів

Великі потенційні можливості утворення селевих масивів закладені в делювальні-елювіальних відкладах. Їх потужність коливається в значних межах - від десятків сантиметрів до кількох метрів. Встановлено, що потужність, за якої ці відклади перебувають у стані рівноваги, не перевищує 3-4 м, у той час як у багатьох місцях Карпат вона досягає 5-11 м.

У таких випадках підвищена вологість делювіально-елювіальних відкладів створює сприятливі умови для переміщення уламкового матеріалу донизу, де він нагромаджується в улоговинах рельєфу й утворює масив, готовий взяти участь у формуванні селевого потоку. Пухкий уламковий матеріал потенційних селевих масивів характеризується високим вмістом піщаних та пилювато-глинистих частинок, є наповнювачем структурного скелету. Гранулометричний аналіз показує, що в селевому масиві дрібноземні фракції складають від 20 до 77 %. Найактивнішою складовою дисперсних ґрунтів є глинисті мінерали. Навіть незначний їх вміст відчутно впливає на такі властивості відкладів у цілому, як гідрофільність, водопроникність, пластичність тощо. Глинисто-кам'яні селі в Українських Карпатах за інших однакових умов формуються переважно на ділянках з ухілами дна улоговин більшими 16-18°. Характерні ознаки дозволяють з достатньою вірогідністю виявляти ці ділянки як на

місцевості, так і за аналізом поздовжніх профілів селевих річищ.

Інтенсивного (0,85-1,25 мм/хв) випадання великої кількості опадів у районах потенційних селевих масивів, що завдяки вологому клімату перебувають у стані постійного зволоження, стає достатньо для ослаблення міцності та опору розриву оболонок слабозв'язаної води. Унаслідок надходження додаткової порції води до маси уламкового матеріалу відбувається руйнування зв'язку між частинками та агрегатами і зміщення чи зсув масиву в цілому. Таким чином, у Карпатах, за умов достатнього і надмірного зволоження, зсув потенційних селевих масивів відбувається при повному обводненні ґрунтів.

2.2. Аналіз факторів, що впливають на розвиток селів у регіональному масштабі

Усі етапи створення просторово-часового прогнозу передбачають залучення до аналізу факторів, які впливають на розвиток селів у просторі і в часі. Спробуємо дати характеристику тим факторам, які впливають на регіональну активізацію селів і розподіл осередків селесходження в регіональному масштабі.

За класифікацією А. І. Шеко [75, 108], фактори, які обумовлюють розвиток екзогенних геологічних процесів, поділяють на три групи (табл. 2.3):

- постійні (незмінні);
- повільнодіючі;
- швидкозмінні.

Фактори першої групи визначають межі території поширення, генетичні особливості ЕГП та інтенсивність їх прояву. Фактори другої групи визначають загальну

Таблиця 2.3. Класифікація факторів розвитку ЕГП
(за А. І. Шеко)

Фактори	Обумовленість розвитку ЕГП
1	2
I Постійні	
Геологічна будова (тектоніка, стратиграфія, літологія)	Генетичні особливості ЕГП і інтенсивність (ураженість) їх прояву
Геоморфологічні умови (загальний характер рельєфу, морфологія і морфометрія, генезис та вік)	Генетичні особливості ЕГП і інтенсивність (ураженість) їх прояву
II Повільно діючі	
1. Незалежні (основні)	
Сучасні тектонічні рухи (горизонтальні, вертикальні)	Загальну тенденцію розвитку ЕГП
Кліматичні	Загальну тенденцію розвитку
2. Похідні	
Геокріологічні	Загальну тенденцію розвитку
Гідрогеологічні	Загальну тенденцію розвитку
Рослинність	Загальну тенденцію розвитку
Ґрунтовий комплекс	Загальну тенденцію розвитку

Продовження таблиці 2.3

1	2
III Швидкозмінні	
1. Незалежні (основні)	
Метеорологічні умови (атмосферні опади, температура та т.д.)	Режим похідних факторів та активізації ЕГП
Гідрологічні умови (витрати та рівні води в річках, рівні води та хвилі в озерах)	Режим похідних факторів та активізації ЕГП
Сейсмічні умови (землетруси)	Режим похідних факторів та активізації ЕГП
Господарська діяльність (вирубка лісів, підрізка схилів, лісні пожари та ін.)	Режим похідних факторів та активізації ЕГП
2. Похідні	
Поверхневий стік (схилувий за тимчасовими і малими водотоками та ін.)	Режим активізації ЕГЕ
Волога гірських порід	Режим активізації ЕГЕ
Льодовитість гірських порід	Режим активізації ЕГЕ
Сезонне промерзання та від танення	Режим активізації ЕГЕ
Міцність та деформаційні властивості гірських порід	Режим активізації ЕГП

тенденцію зміни активності розвитку ЕГП. Тут можна виділити дві підгрупи: основні (незалежні) та похідні (залежні). До першої підгрупи треба віднести тектонічні рухи та клімат; до другої — загальні гідрогеологічні умови, ґрунти та рослинність. Фактори третьої групи теж поділяються на дві підгрупи. До першої підгрупи (незалежні) відносяться гідрометеорологічні (атмосферні опади, температура, вітер), гідрологічні (рівні води в морі та річках), а також сейсмічність (землетруси). Незалежні фактори третьої групи визначають активізацію ЕГП, але їх дія реалізується через залежні фактори — поверхневий стік, витрати води у водотоках, вологість, міцність та деформаційні властивості гірських порід.

Фактори мають різні періоди реалізації, що зумовлює різний режим активізації ЕГП відносно до режиму дії цих факторів. Час реалізації впливу постійних факторів змінюється в широкому діапазоні.

У зв'язку з цим, режим ЕГП відносно до режиму факторів є непостійним (гетерохронним) у часі.

При відносно сталому періоді реалізації факторів виникає зміщений на постійний (метахронний) відрізок часу режим реалізації ЕГП. Швидкозмінні фактори викликають синхронний прояв ЕГП.

ЕГП розвиваються переважно завдяки перерозподілу енергії та переносу речовини. Виділяються три групи ЕГП, які розвиваються завдяки:

- 1) перерозподілу енергії — абразія, ерозія, сейсмогенні зсуви.
- 2) переносу речовини — зсуви-потоки, опливини, просідання лесових ґрунтів, карст, підтоплення.

3) перерозподілу енергії й переносу речовини — селі, зсуви, вивітрювання, осипання, підтоплення, провали над гірничими виробками.

Як бачимо, селеві процеси відносяться до третьої групи, що вказує на те, що вони зумовлюються багатофакторним впливом.

Далі наведено опис природних особливостей Карпатського регіону та умов, що сприяють розвитку селевих процесів. Кількісною характеристикою впливу факторів є факторна ознака.

Тектонічна будова. Аналіз розподілу осередків селесходження відносно тектонічних зон вказує на наявність певних закономірностей. Одні зони характеризуються високою селективністю, іншим розвиток селевих процесів не притаманний. Це пояснюється особливостями їх будови. Окремі морфологічні елементи відповідають основним тектонічним районам, витягнутим із північного заходу на південний схід. Виділяють дві великі тектонічні одиниці: Зовнішні (або Флішові) і Внутрішні Карпати. Межею між ними є зона Пенінських стрімчаків, яка знаходиться на території Закарпатської області, простягається вузькою смугою і відзначається поширенням вапнякових брил-стрімчаків, які виступають у рельєфі у вигляді скель з крутими та обривистими схилами. Принцип виділення менших тектонічних одиниць базується на структурно-фаціальних ознаках. Так, у межах Зовнішніх Карпат на території Закарпатської області виділяються 6 структурно-тектонічних зон: Кросненська, Черногірська, Дуклянська, Поркулецька, Магурська та Рахівська. В окремі зони виділено Мармароський кристалічний масив та Пенінські і Мармароські стрімчаки (рис. 2.9). Останні є великою структурною одиницею

земної кори – глибинним розломом. У межах Закарпатського внутрішнього прогину, що тягнеться на південь від Припенінського глибинного розлому, виділяють три тектонічні зони. Зокрема, Красва зона, що охоплює північну частину прогину і має характерне моноклінальне залягання; Центральна зона – зона розвитку соляно-діапірових та брахіантиклінальних складок, зона Припанонського глибинного розлому. Відсоткова ураженість зон селепроявами зображена на рис. 2.10. Коефіцієнти контрастності R_i розраховані за формулою (2.1)

$$R_i = \frac{n_i}{\sum N} \cdot \frac{\sum S}{s_i}, \quad (2.1)$$

де n_i - кількість зареєстрованих селів у межах окремої зони; $\sum N$ - кількість селів, що зафіксовано в межах території всіх зон (регіону); s_i - площа окремої зони; $\sum S$ - сума площ усіх зон у регіоні; i – кількість зон регіону.

Як бачимо з наведеної діаграми, найбільша кількість селепроявів і найбільший коефіцієнт контрастності спостерігається для Кросненської тектонічної зони.

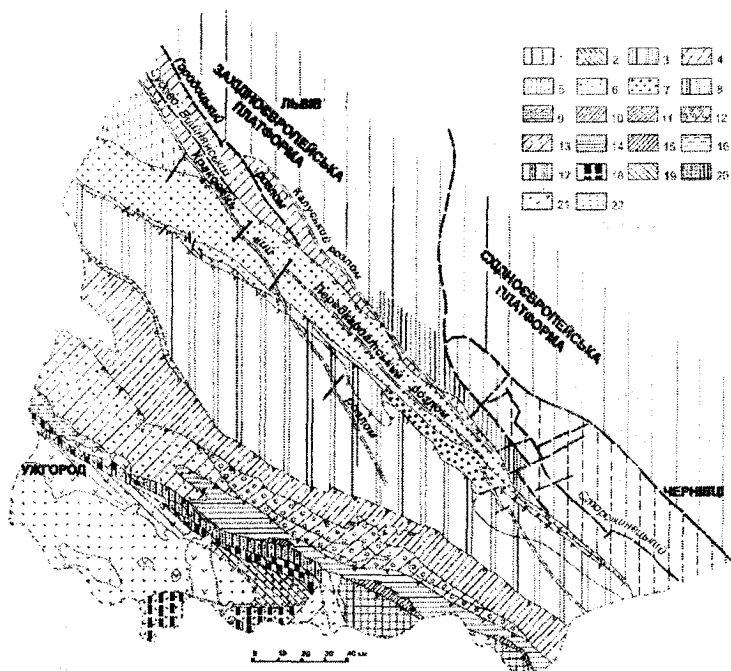


Рис. 2.9. Схема тектонічного районування Українських Карпат. Склав П. Лозиняк, 2002 р.

1 — Східно- і Західноєвропейські платформи; 2—5 — південно-західний край платформ: 2 — Коломийська западина; 3 — Отинський горст; 4 — Косівсько-Угерська ступінчаста зона; 5 — Крукеницька западина; 6—7 — шар'яз моласового комплексу (егер-сармат) Передкарпаття: 6 — Стебницький покров; 7 — Слобідський покров; 8—19 — флішевий комплекс (крейда-палеоген) Карпати: 8 — Сколівський (Скибовий) шар'яз; 9 — Розлуцька зона; 10—13 — Шипоцький шар'яз; 10 — Кроснецький покров; 11 — Черногорський покров; 12 — Клімовський покров; 13 — Дуклянський покров; 14 — Сухівський шар'яз; 15 — Рахівський шар'яз; 16 — Магурський шар'яз; 17—18 — П'єнінський шар'яз; 17 — Північна (Мармароська) смуга скель (покров); 18 — Південна (власне П'єнінська) смуга скель (покров); 19 — Лесарненський покров, розкритий у фундаменті Закарпатського прогину; 20 — Внутрішні Карпати: Мармароський шар'яз; 21—22 — моласи Закарпатського прогину: 21 — Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо; 22 — теригенні утворення (егер-дакій) Солотвинської і Мукачівської частин прогину.



Рис. 2.10 Ураженість тектонічних зон селепроявами

Кросненська морфоструктура (найбільш уражена селевими водотоками) включає частину Полонинського хребта на межиріччі Ріки й Тересви. Рельєф інтенсивно розчленований, абсолютні висоти сягають позначки вище 1500 м (г. Топас, 1552 м, г. Ружа, 1568 м.). Розвинуті тут тонкоритмічні піщано-глинисті флішові товщі утворюють дрібні складки, мають підвищену тріщинуватість і розірвані на окремі луски з північно-східною орієнтацією. Такі особливості, різко розчленований рельєф, круті схили, які нагадують альпійські форми, сприятливо впливають на утворення і накопичення пухкоуламкового матеріалу з можливим винесенням впродовж року 600-3400 м³ на 1 км² матеріалу в селеві водотоки.

Друга за величиною ураженості селевими водотоками тектонічна зона – *Поркулецький покрив* — найбільша структурна одиниця Флішових Карпат.

Закарпаття, її покривна будова чітко простежується по Петроському тектонічному напівостанцеві, що свідчить про насування покриву на північ щонайменше на 12 км. Фронтальна частина покриву трасується тектонічними відторженнями карбонатних порід, поєднаних з ефузивами. Східна частина покриву характеризується загальним підняттям, у її межах відслонюються тільки крейдові товщі, а в будові західної частини покриву широко представлені палеогенові товщі, включаючи й олігоцен. Для Поркулецького покриву характерне поширення лусок і дрібних складок, наявності тектонічної порушеності та подрібненості, зон брекчіювання, меліонізації. Все це полегшує розмив гірських порід і поповнення селів пухкоуламковим матеріалом. У зонах перерізу тектонічних порушень глини змінюють свої властивості, що забезпечує перехід породи з твердого у в'язкопластичний стан, а при інтенсивних зливах – у глинисті суспензії, що складають напіввідку частину селів.

Поширення селевих явищ на території *Рахівського масиву* пояснюється значним вертикальним розчленуванням. Глибокі долини, круті та подекуди стрімкі схили, значна амплітуда відносних висот (понад 1000 м), наявність гострих і скелястих гребенів та вершин виділяють цей масив серед інших гірських груп Карпат. Рахівська морфоструктура характеризується розвитком виражених у рельєфі дрібних різноспрямованих і морфологічно неоднорідних складок, зумовлених значною тектонічною тріщинуватістю. Поперечно-блокові структури, а також характер гірських порід, представлених міцними кристалічними сланцями, гнейсами та мармуровидними вапняками, зумовили різновисотне положення хребтів і неоднакову інтенсивність

денудаційних процесів. Інтенсивна глибинна ерозія річки Тиса, яка характеризується значною селевою активністю, порушила орографічну цілісність масиву, поділивши його вузькими долинами на кілька пасем меридіонального простягання. Тут конуси виносів селів приурочені до глибоких V-подібних річкових долин [32]. Потужна флішева товща темнобарвних теригенно-карбонатних валанжин-баремських утворень зібрана в дрібні сильно дислоковані складки. На північний захід, біля річки Тересви, зона різко звужується і повністю виклинюється, зникаючи під насувом зони Мармароських скель. Селеві вогнища повсюдно приурочені до зон розвитку різноритмічного дво-, трикомпонентного крейдо-палеогенового флішу. Середньорічна кількість продуктів руйнування порід становить 2,5-8,5 кг/м². Селеві потоки водокам'яного типу, тому що глинистий матеріал поставляється постійними водотоками. Особливе місце займають селеві осередки, пов'язані з певними взаємними просторовими перетинаннями розривів і тектонічно ослаблених зон зі схилом. Найбільш потужні селеві осередки виникають тоді, коли одна система тріщин, що круто падають, проходить паралельно схилу, а інша перетинає схил під кутом.

Крайова зона Закарпатського прогину — це зовнішня периферія області поширення найбільш древніх відкладів міоцену, що характеризується загальною моноклінальною будовою з нахилом шарів на декілька градусів до центру прогину. У цілому крайова зона є дуже вузькою смугою, яка розвинена в межах фундаменту, складеного утвореннями *зони Пенінських стрімчаків* — основної селевої локалізації. У разі інтенсивних (часто локальних) злив у пониженнях, які є елементарними водозборами,

формуються тимчасові досить потужні водні потоки, які, рухаючись униз, розмивають пухкі елювіально-делювіальні відклади і насичуються до консистенції грязекам'яних селів. Характерними особливостями таких селевих потоків є швидке нарощування їхніх витрат, збільшення густини селевого потоку до 1,4–1,5 т/м³, зростання його потужності та нетривалий час проходження. Часто вони не досягають руслової мережі, а біля підніжжя схилу утворюють різні за розміром і складом конуси винесення.

У напрямку на південний захід породи Кросненської зони змінюють комплекси порід *Дуклянського покриву*. Його склепіння складають породи верхньої крейди, а на периферії залягають флішові товщі палеоцену, соцену та олігоцену. Верхня крейда представлена свидовецькою світою, де чергуються шари флішу та мергелів. Простягання порід крейди в районі с. Лубня майже меридіональне. Вони фіксуються тут малими долинами річок. Стійкі породи, що залягають у центральній частині власне Верховинського вододільного хребта та інших гірських масивів, відносять до лютської світи палеоцену. Вони представлені масивними і товстошаруватими пісковиками з рідкими прошарками аргілітів. Породи еоцену сформовані шарами пісковиків, алевролітів і аргілітів. Виразної приуроченості долин уздовж простягання порід тут не спостерігається. Ерозійні схилі селеві потоки виникають під час зливових опадів великої інтенсивності на тих ділянках схилів, де у верхніх їхніх частинах є зниження різного генезису (місця формування обвалів, зсувів, ерозійні улоговини тощо), а пухкі схилі відклади не закріплені або недостатньо закріплені рослинністю [20].

Мармароський масив виділяється як шовна зона (Мармароська кордільєра), яка слугувала довший час джерелом зносу для флішових товщ по її зовнішньому краю, та моласовидних – по внутрішньому. Масив має покривну внутрішню структуру, насунутий на флішові Карпати і складений складно-дислокованими метаморфізованими палеозойськими і мезозойськими утвореннями, на яких із різким неузгодженням залягають карбонатно-теригенні товщі з потужними верхньоюрськими ефузивами.

Зона Мармароських скель складена з відкладів крейди і палеогену з широким розвитком по зовнішній периферії в основному карбонатних брил-скель серед поля розвитку теригенних відкладів соймульської світи, а також брил різноманітних магматичних порід.

Закарпатський внутрішній прогин вивпунений неогеновими моласами, дислокованими в положі складки, що ускладнені місцями соляними штоками та вулканогенними утвореннями. За структурою осадового чохла в Закарпатському прогині з північного сходу на південний захід виділяють зони: Крайову (моноклінальну), Центральну (соляно-діапірову з брахіскладками) і Припанонську, що Берегівською зоною розломів обмежує Панонську міжгірську западину, яка невеличкими ділянками заходить на територію Закарпаття.

Накладним елементом прогину є Вигорлат-Гутинське пасмо, складене потужною товщею порід вулканічної формації – найбільш пізнього магматичного утворення регіону, що вилилися ефузивами пліоценового віку і перекриті товщею (до 10 м) елювіально-делювіальних відкладів. Товща інтенсивно роздроблена різноманітно орієнтованими розривними порушеннями та ускладнена

вторинною складчатістю субмеридіанального напрямку. Вигорлат-Гутинське пасмо своєю ділянкою меридіанального напрямку (так звані Хустські ворота) розділяє Закарпатський прогин на Мукачівську та Солотвинську западини. Остання характерна тим, що на її поверхні присутні переважно баденські та частково сарматські відклади, а в її розрізі поширені соленосні породи, які дають розвиток інтенсивним проявам соляного тектогенезу. У Мукачівській частині на поверхню виходять більш молоді утворення і в розрізі зменшена кількість солей [137].

Тектонічні рухи. Тектоніка, у першу чергу новітні тектонічні рухи, суттєво впливає на формування селевих потоків. Висвітлення питань впливу тектоніки на формування селів знаходимо в публікаціях [96, 111, 3]. Зазначається, що в поширенні селевих районів прослідковується певна закономірність, яка виражається в їх приналежності до рухливих, у тектонічному відношенні найбільш активних поясів земної кори. Це пояснюється тим, що одним із найважливіших факторів виникнення селів є контрастний рельєф, обумовлений проявом диференційованих новітніх тектонічних рухів. Чим інтенсивніші ці рухи, тим виразніша залежність форм рельєфу від плану розподілу й амплітуди підняття і занурень земної кори. Особливої важливості тектоно-геоломорфологічним умовам у процесах формування селів надається А. Г. Крохмалем. У праці [68] він доводить, що за інших рівних умов селіві процеси починаються там, де величина енергії рельєфу більша. У свою чергу вказується, що енергетика рельєфоутворюючих процесів тісно пов'язана зі спрямованістю й інтенсивністю новітніх і сучасних тектонічних рухів, перш за все вертикальних.

У Карпатах, де геосинклінальний цикл закінчився наприкінці палеогену, по суті всі тектонічні рухи та створені ними структури належать до неотектонічного етапу. За цей час, тобто в неогені та четвертинному періоді, відбулося кілька фаз складкоутворення, виникла складна система складок, зсувів і розломів, сумарна амплітуда підняття досягла 1500-2000 м. Більшість структур Карпат продовжує свою активність – відбуваються значною мірою успадковані диференційовані рухи, підіймаються антиклінальні структури, спостерігаю зміщення по розломах і насувах.

За результатами режимних геодезичних спостережень, проведених фахівцями Інституту геофізики імені С. І. Субботіна НАН України, з'ясовано, що з максимальною швидкістю (до 3 мм/рік) відбувається підняття Карпатської складчастої області. У напрямі до прогинів швидкість сучасних тектонічних рухів зменшується до 1,0 мм/рік, а на платформі — до 0.5 мм/рік. У разі переважання лінійності ізолій швидкості сучасних тектонічних рухів паралельно до структур Карпат зафіксовано їхню блокову диференціацію [31].

Геолого-тектонічні особливості території та значна сейсмічність пояснюють існування цілої системи розломів і розривних порушень. Розломи, як відомо, не є простими порушеннями і навіть не їх концентраціями. Це складні міжблокові тектонічні структури багатоактного утворення, що сформувались у результаті декількох послідовних тектонічних активізацій. Активізація проявів розломів обумовлена "перекосом" блоків кристалічного фундаменту, що перекриті схильними до сповзання породами [136].

Практично всі рухи земної кори в тій чи меншій мірі пов'язані з тектонічними розломами і ці рухи найбільш активні в зонах розломів. У Карпатському регіоні спостерігається чітка приуроченість ділянок підвищеного розчленування рельєфу до найбільш активних тектонічних структур, що зазнають інтенсивного підняття. Загальний напрямок річок і будова їх системи обумовлені тектонічними порушеннями. Останні сприяють зниженню денудаційної стійкості гірських порід і більш інтенсивному розвитку регресивної ерозії вздовж їх основних напрямів, обумовлюючи ряд конкретних особливостей гідрографічної мережі та денного рельєфу [135].

У Карпатах виявлено чіткий зв'язок тектонічних порушень із поширенням селевих басейнів [60]. Геолого-тектонічні особливості території та значна сейсмічність пояснюють існування цілої системи розломів і розривних порушень, які поділяються на регіональні, I, II, III порядків. Регіональні розривні структури мають велику протяжність, значну глибину проникнення і характеризуються тривалим розвитком. На земній поверхні глибинні розломи виражені потужними зонами тріщинуватості, розсланцювання, дроблення, мілонітизації, складчастості; вони часто супроводжуються проявами інтрузивного й ефузивного магматизму, інтенсивним метаморфізмом; у рельєфі звичайно виділяються випрямленими ділянками долин рік, обривистими схилами гір. Розломи першого порядку обмежують літосферні плити. Розломи другого порядку є границями малих плит і мікроплит. До розломів третього порядку відносяться всі інші глибинні розломи.

Наявність закономірностей розвитку селів відносно тектонічних розломів можна простежити за гістограмою,

яка наведена на рис. 2.11. По осі абсцис наведені відстані від селевих осередків до розломів (в метрах), по осі ординат – кількість селевих осередків (у відсотках). Під рисинком наведено статистичні характеристики розподілів.

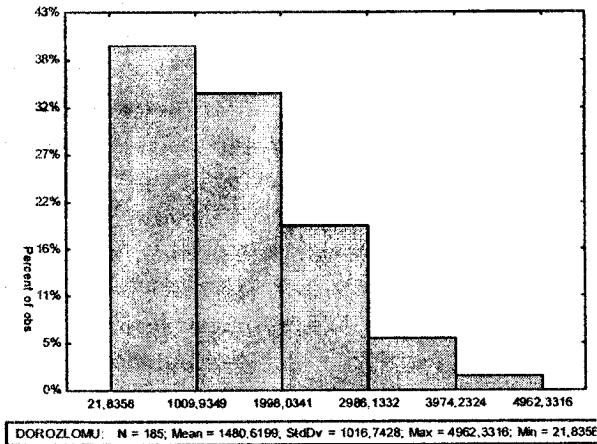


Рис. 2.11. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "відстань до тектонічного розлому"

Зв'язок просторового розподілу селів із тектонічними порушеннями пояснюється також розвитком у межах останніх зон тріщинуватості й дроблення. У межах зон тріщинуватості зменшується здатність гірських порід протистояти зовнішнім впливам, у результаті чого їх швидкість руйнування збільшується, вони краще піддаються процесам розмивання і стають твердою складовою селів.

Закономірності просторової орієнтації селевих водотоків відносно тектонічних розломів простежуються за діаграмою на рис. 2.12. Як відомо, для тектонічних

розломів Карпатського регіону характерне простягання з північного заходу на південний схід.

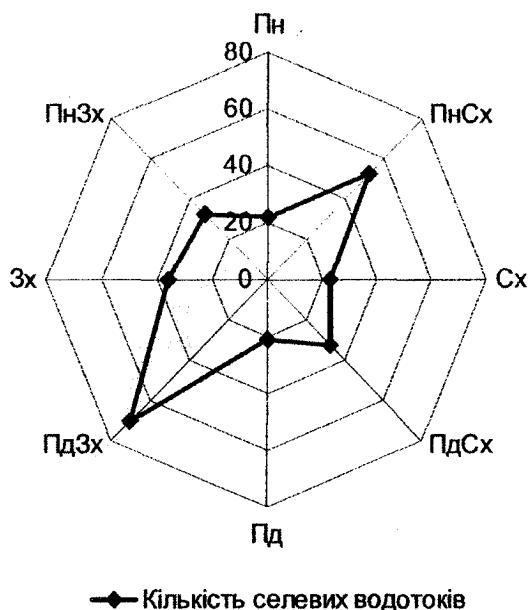


Рис. 2.12. Діаграма кількості селевих водотоків на схилах відповідних експозицій

Більшість схилів із селевими водотоками мають південно-західну і північно-східну експозиції. Отже, більшість селевих водотоків геометрично перпендикулярні тектонічним розломам. Таким чином, при виявленні потенційних селевих водотоків більшу ймовірність селенебезпеки потрібно надавати водотокам схилів, які мають південно-західну та північно-східну експозицію.

Геологічна і літофаціальна будова. Карта літофацій Закарпатської області, у межах якої розташована територія прогнозування, наведена на рис. 2.13.

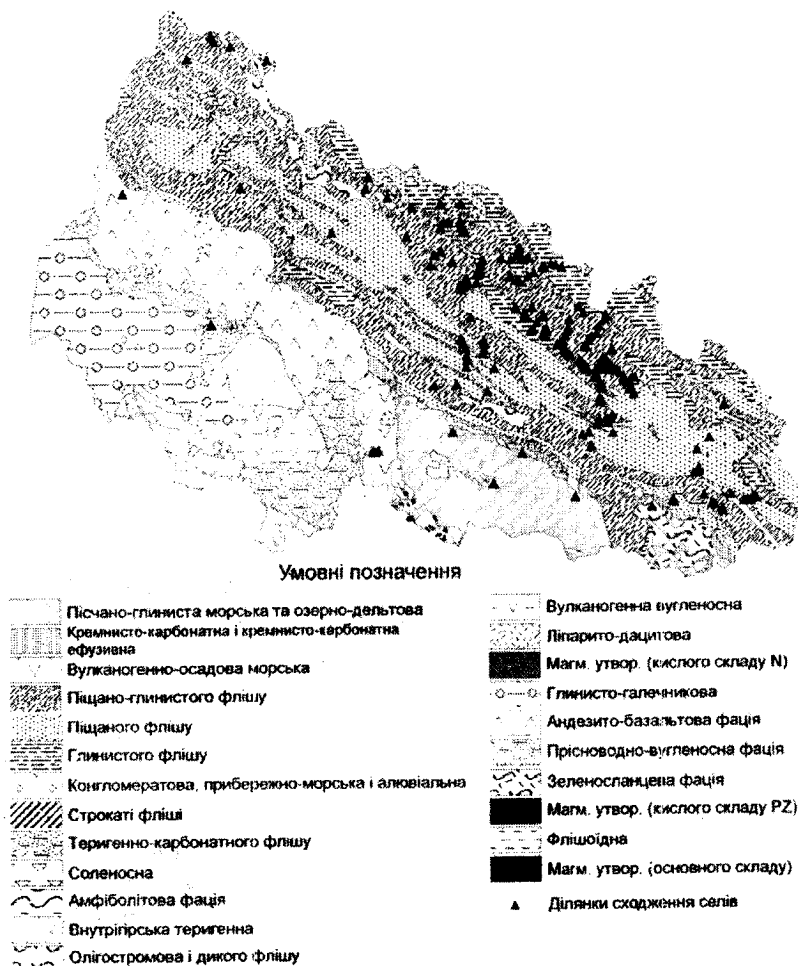


Рис. 2.13 Літофаціальна будова Закарпатської області

Верхня частина розрізу в межах усіх структурно-тектонічних одиниць Закарпаття представлена алювіальними відкладами русел річок та їх терас (валуни, галечники, піски, суглинки, мули), обсипними, обвальними, зсувними і пролювіальними нагромадженнями. Потужність алювію річок від гір вниз збільшується з 1 до 5 м. У долинах рік антропогенні відклади утворюють суцільний покрив піщано-галечникових порід потужністю 15 – 75 м. Осипні нагромадження характерні для гірської частини і складені щебенем, брилами, дресвою різних порід. Зсувні відклади складені грубоуламковим матеріалом із глинисто-суглинним наповнювачем.

Делювіально-пролювіальні відклади (щебінь, брили, суглинки) не розчленовані, розповсюджені на схилах хребтів, досягають потужності 10 м. За складом делювіальні шлейфи щебенисто-суглинністі, суглинністі. Потужність їх не перевищує 4 – 5 м. Утворення Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма перекриті товщею (8 – 10 м) елювіально-делювіальних пліоценових відкладів. У табл. 2.10 наведено стратиграфічну колонку верхньої частини розрізу Закарпатського регіону [147].

Літофаціальний тип підстилаючих гірських порід є вагомим фактором, що впливає на розвиток селів. Саме літофаціальні особливості вказують на здатність геологічного середовища до утворення пухкого матеріалу, який при селесходженні утворить тверду складову селю. Крім того, літологічний склад порід характеризує здатність порід піддаватись руйнації під впливом атмосферних вод та інших зовнішніх впливів.

Таблиця 2.10. Стратиграфічна колонка верхньої частини розрізу Закарпатського регіону

Загальна стратиграфічна шкала			Генетична класифікація четвертинних відкладів				
Сис-тема	Від-діл	Лан-ка	Гру-па	Тип	Ін-декс	Відклади	
1	2	3	4	5	6	7	
Чвертинна (антропогена)	Голоцен	Сучасна Q _{iv}	Елювіальний	Елюві-альний	e IV	Відклади виположених вершин, гребенів хребтів нагорних терас. Скали, глиби, шебінь, суглинки.	
					ed IV	Елювіально-делювіальні відклади нерозчленовані: шебінь і глиби, суглинки зі шебенем.	
				Гравітаційний	Колюві-альний	c IV	Осипні і обвальні відклади: глиби, шебінь, суглинки з піском.
					Зсувний	o IV	Зсувні відклади. Суглинки, глини з глинами і шебнем
			Водна	Елюві-альний	ch IV	Відклади джерел. Шебінь, глиби, суглинки зі шебенем, суглинки.	
				Делюві-альний	d IV	Делювіальні відклади. Шебінь і глиби, суглинки.	
					dc IV	Делювіально-колювіальні відклади нерозчленовані. Шебінь, глиби, суглинки зі шебенем.	
				Пролю-віаль-ний	P ₁ IV	Селеві відклади: глиби, шебінь, суглинки зі шебенем.	
					P ₂ IV	Конуси виносу. Суглинки зі шебенем.	
					dP IV	Делювіально-пролювіальні відклади: шебінь, глиби, суглинки зі шебенем.	

Продовження табл. 2.10

1	2	3	4	5	6	7
				Водно-Льодовиковий	fg IV	Воднольодовикові відклади нерозчленовані. Суглинки з валунами, супесі, торф.
					g IV	Крупні глиби.
				Алювіальний	a ² IV	Алювіальні відклади заплавних терас і русел річок. Валунники, галечники, піски, алевроліти, суглинки, вамули
	a ¹ IV	Алювіальні відклади першої і другої надзаплавних терас. Галечники, піски, алевроліти, суглинки, глини.				
	A III	Алювіальні відклади III, IV, V надзаплавних терас. Піски, алевроліти, галечники, суглинки, глини, торф.				
					A II	Алювіальні відклади VI надзаплавні тераси.
	Плейстоцен	Верхній Q III				
		Середній Q II				
		Нижній Q I				

Для порівняння інтенсивності селеутворення по літофаціях необхідне нормування розподілу селів за площею відповідних літофацій. Для цього застосовано кількісну характеристику, яка відображає ураженість території селями – коефіцієнт контрастності, що визначається за формулою (2.1) [45]. На рис. 2. **Ошибка!** **Источник ссылки не найден.** 14 наведено діаграму коефіцієнтів контрастності з нанесеними кількостями проявів селів для літофаціальних комплексів. Як бачимо з наведеної діаграми, найбільша кількість селів і найбільший коефіцієнт контрастності спостерігається для фацій піщано-глинистого і глинистого флішів.

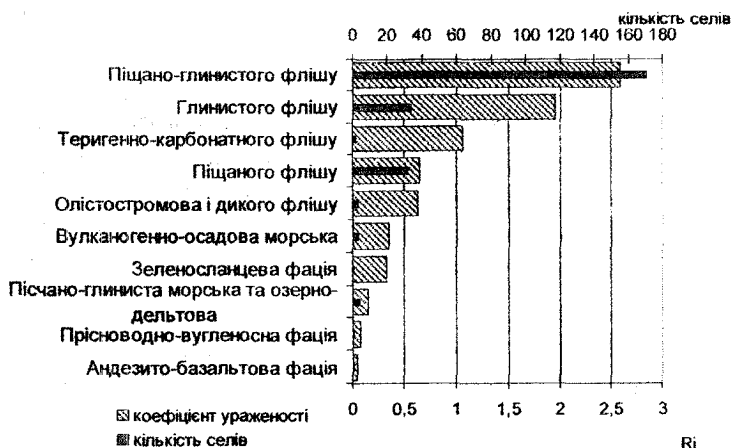


Рис. 2.14. Діаграма коефіцієнтів контрастності літофацій

Геоморфологічні фактори. Абсолютна висота. Цей фактор має визначальний вплив на більшість просторових факторів. Абсолютна висота впливає на етапи розвитку селю: живлення селю відбувається на вершинних ділянках гір, транзит – у середній частині, розвантаження і акумуляція – на ділянках з найменшою абсолютною висотою у селевому басейні (рис. 2.15).

Гістограми розподілів значень факторних ознак «абсолютна висота селю» і «абсолютна висота вододілу» наведені на рис. 2.16, рис. 2.17.

Закономірний зв'язок розподілу осередків селесходжень у залежності від відстані до вододілу наведений на рис. 2.18.

Розподіл осередків селесходжень залежно від відстані до вододілу у більшості пояснюється підвищеною тріщинуватістю порід у вододільних зонах, що сприяє інтенсивній інфільтрації атмосферних опадів у гірські

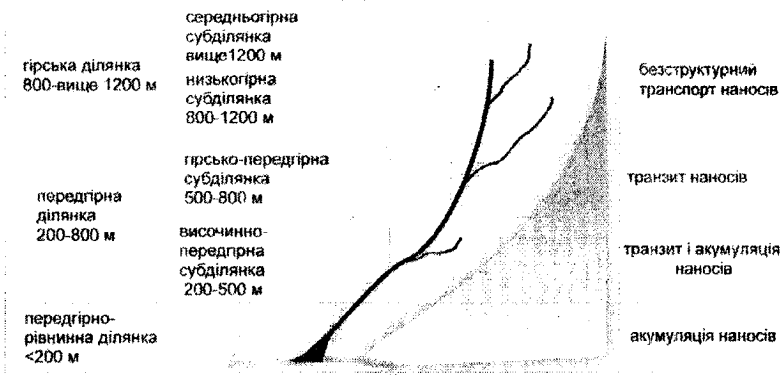


Рис. 2.15. Залежність транзиту і акумуляції наносів від абсолютної висоти

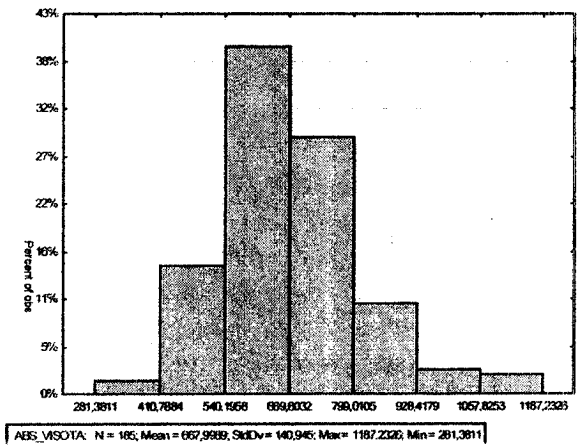


Рис. 2.16. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "абсолютна висота село"

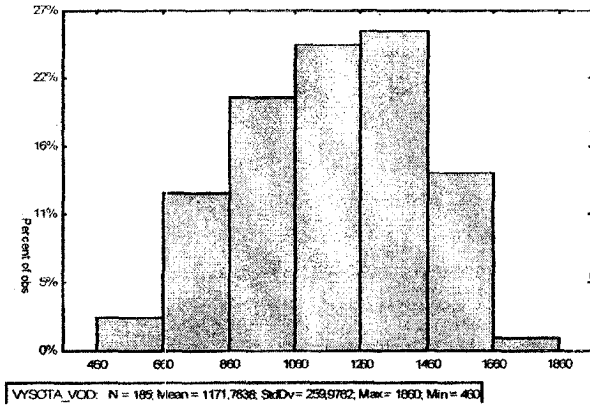


Рис. 2.17. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "абсолютна висота вододілу"

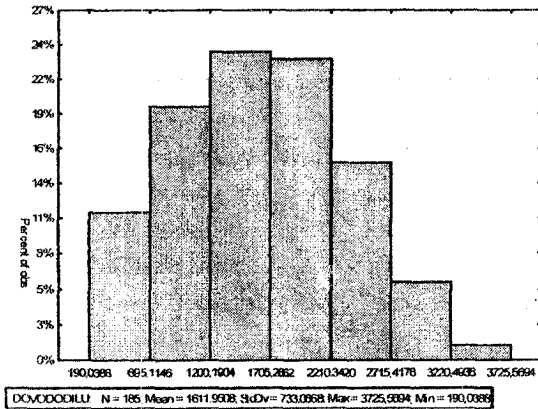


Рис. 2.18. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "відстань до вододілу"

породи з наступною фільтрацією уздовж схилів, з урахуванням погіршення їхніх фільтраційних характеристик і зменшення міцності й відповідно стійкості порід униз по схилу.

Кут нахилу схилу є одним із визначальних факторів розвитку селевих процесів. Основними рисами рельєфу, що впливають на характер та інтенсивність селевих процесів, є ухили селевих русел, крутизна схилів та морфологія долин. Яка кількість опадів не випала б у даному басейні та яка б кількість продуктів руйнування не накопичувалась у селевому осередку, утворення селю неможливе, якщо рельєф басейну, а точніше ухил селевого річища, не сприятиме переміщенню цих продуктів разом з водною складовою донизу у вигляді руслових потоків. Гістограма розподілу значень факторної ознаки «кут нахилу» зображено на рис. 2.19.

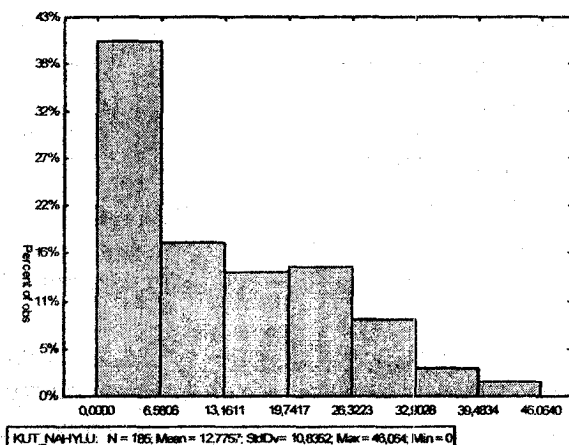
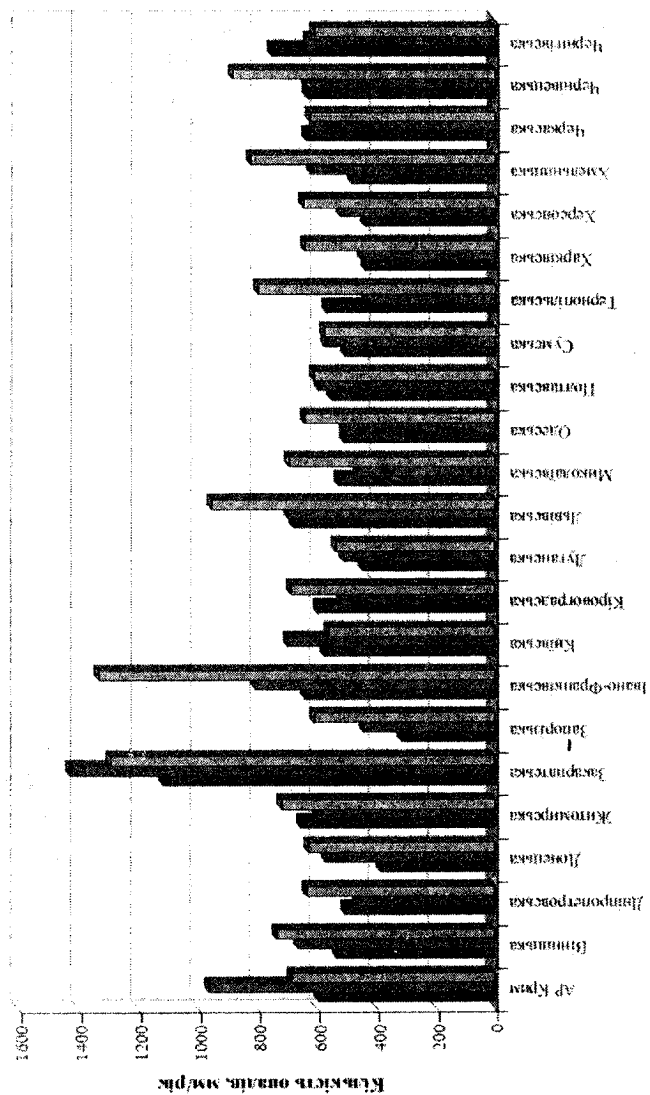


Рис. 2.19. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "кут нахилу"

Клімат. Клімат Карпатського регіону помірно-континентальний із м'якою зимою, тривалою вологою весною, нежарким літом і відносно посушливою осінню. Система гірських хребтів Карпат розташована на шляху переміщення вологих повітряних мас з Атлантики, що призводить до безпосереднього впливу повітряних потоків на схили гір. Сумарна річна кількість опадів тут більша, ніж в інших регіонах України (рис. 2.20) [78]. Якщо на рівнинній території України в середньому за рік випадає 400-600 мм опадів, то в Карпатах 1000-1600, місцями до 2000-2400 мм.

Ухили місцевості в горах перевищують 200-500 м/км, тому за зливових дощів процеси формування стоку відбуваються досить інтенсивно, що призводить до формування селів [131]. При цьому за 12 годин випадає 70-150 мм опадів, а за добу кількість опадів може досягти 150-250 мм. Дощами часто охоплюється територія з площею 15-30 тис. км² і більше [18, 123]. В умовах кругосхилого рельєфу з похилами, що перевищують 200-500‰, модулі поверхневого стоку на водозборах площею до 200 км² сягають 2,5-3,2 тис. л/с на км²; у гірських басейнах площею 300-500 км² вони становлять 1,0-2,0 тис. л/с на км². Такі великі модулі поверхневого стоку при значній тривалості періоду випадання дощу є головною передумовою формування сильних паводків у цьому регіоні. [27].

За результатами висотного положення русел встановлена загальна характеристика транспорту наносів [66]. Гірській ділянці відповідає безструктурний транспорт наносів, що зумовлено значними нахилами місцевості. Передгірній ділянці характерні як транзит, так і акумуляція наносів.



■ кількість опадів за 1982 рік ▨ кількість опадів за 2010 рік

Рис.2.20. Розподіл кількості атмосферних опадів за 1982-2010 рр.

Це пояснюється тим, що морфометричні характеристики русла залишаються більш-менш незмінними, однак похили річки та швидкості течії вже відчутно зменшуються. Рівнинно-передгірній ділянці притаманна здебільшого акумуляція наносів, що обумовлюється значними змінами морфометричних і гідродинамічних характеристик русел, а саме — зменшенням нахилів, ширини русел, уповільненням швидкостей течії та накопиченням наносів.

При цьому слід зауважити, що для Карпат характерне локальне формування селевих паводків. Локальність виявляється в тому, що водяна складова селю формується з усієї стокоутворюваної площі водозбору, а тверда складова лише з незначної її частини (одного чи декількох осередків) [130].

Коефіцієнти стоку в басейнах річок Закарпаття є вищі, ніж річок басейнів Пруту і Дністра. З величинами поверхневої складової стоку тісно пов'язані показники випаровування з водозборів. Середньорічне випаровування за багаторічний період становить 650—600 мм у висотному поясі 600—800 м і 600—550 мм у поясі 900—1200 м на південно-західному макросхилі Карпат [133]. На тівнічно-східному макросхилі випаровування менше і сягає відповідно 650—600 мм (на висоті 700 м) і 550—500 мм (на висоті 1000—1200 м), тобто в басейнах південної експозиції випаровування на 10—15 % більше, ніж у басейнах північної експозиції.

Найвищий шар дощового стоку 1%-ї забезпеченості зафіксовано у верхів'ях річок Біла Тиса, Прут і Бистриця Солотвинська, а найнижчий — у Закарпатській низовині (50—100 мм).

Спроб детального аналізу факторів загострення паводкової і селевої небезпеки у Карпатському регіоні є достатньо багато [38, 127, 101 та інші]. Висновки експертних комісій щодо причин великомасштабних паводків у Закарпатті наведені в [39, 44]. Усі вони відображають реально існуючу напругу екологічної ситуації, зумовлену змінами кліматичних умов, а також нерациональним господарюванням. Беручи до уваги те, що у даній роботі досліджуються селі, які зумовлені інтенсивними атмосферними опадами, то цей фактор є визначальним. Атмосферні опади крім того, що беруть участь у селеутворенні як складова водної фази селю, також визначають зволоження ґрунтів, суфозію. Атмосферні опади служать спусковим механізмом для інших видів ЕГП, які стають джерелами живлення для селів. При дослідженнях беруться до уваги середня річна кількість опадів (у просторовому аналізі) і сумарна річна кількість опадів (в аналізі селевої активності). Вибір при часовому аналізі факторної ознаки «річна кількість опадів», а не «кількості опадів за сезоном» зумовлений найкращою кореляцією часового ряду річної кількості селів саме з цією факторною ознакою. Це добре видно з рис. 2.21.

Часовий ряд факторної ознаки "сумарна річна кількість опадів", який використовувався при розрахунку комплексного показника багаторічної селективності, зображено на рис. 2.22. Обрані дані – це дані за Рахівським метеопостом (1979-2008 рр.), нарощені на період 1972 – 1978 рр. за даними метеопосту в м. Хуст з урахуванням кореляції середніх значень по двох рядах.

Зв'язок сонячної активності з селеактивністю Карпатського регіону висвітлений у працях [12, 111].

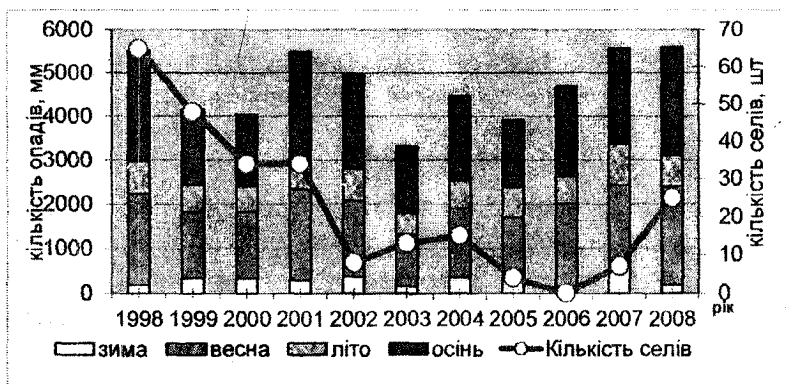


Рис. 2.21. Часові ряди кількості селів і кількості опадів по сезону

Інтенсивний ріст і спад сонячної активності приводить до змін параметрів магнітосфери та плазмосфери і викликають зміни циркуляції в атмосфері, що призводить до змін погоди та інших природних явищ. Цей вплив здійснюється опосередковано, шляхом передачі енергії, а також через вплив на клімат Землі, у першу чергу на закономірності циркуляції повітряних мас, опадоутворення, температуру. Часовий ряд факторної ознаки "числа Вольфа", який використовувався при розрахунку комплексного показника багаторічної селективності, зображено на рис. 2.23.

Вплив середньорічних температур повітря на селеактивність Карпатського регіону згадується в працях [12, 111]. Цей фактор впливає на руйнування гірських порід під тривалим температурним впливом, а також відображає переважаючий атмосферний циркуляційний вплив. Зміни багаторічної селевої активності та середньої температури повітря з 1998 по 2008 роки наведено на рис. 2.24.

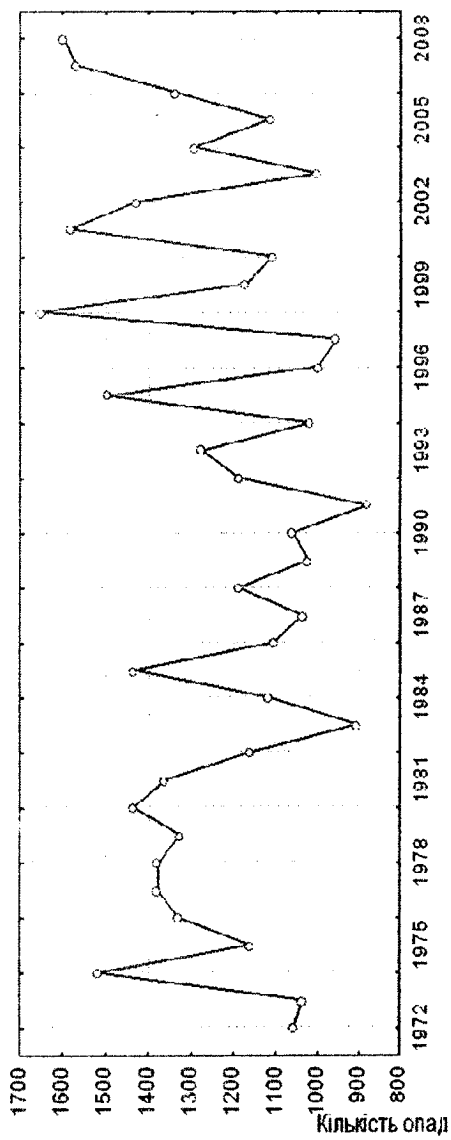


Рис. 2.22. Часовий ряд факторної ознаки "сумарна річна кількість опадів"
(дані Рахівського метеопосту, Закарпаття)

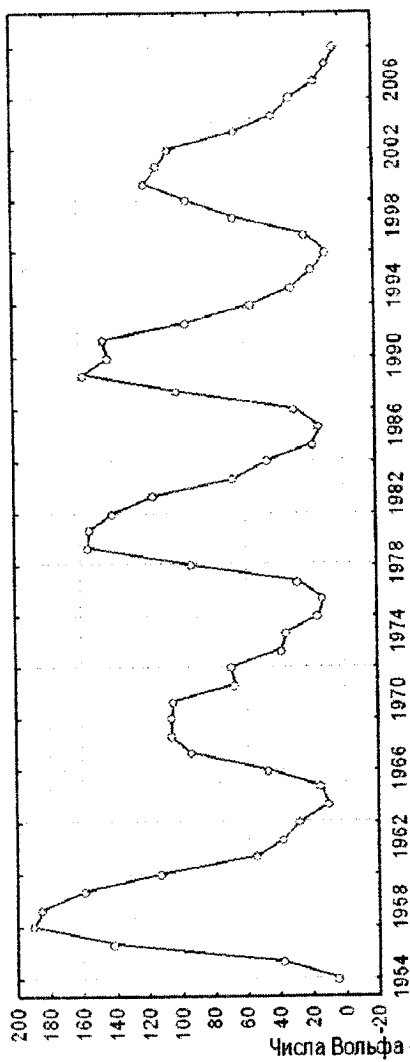


Рис. 2.23. Часовий ряд факторної ознаки "числа Вольфа"

Часовий ряд факторної ознаки "середньорічна температура повітря", який використовувався при розрахунку комплексного показника багаторічної селективності, зображено на рис. 2.25.

Рослинність. У табл. 2.4 наведені дані щодо переважаючої рослинності Карпат за висотами. Знеліснення величезних просторів у гірських ландшафтах Карпат внаслідок господарської діяльності протягом останніх століть є також надзвичайно вагомою причиною інтенсифікації селів.

Через економічно неощадливу господарську діяльність, зокрема, сільського господарства, регуляційний та акумулюючий потенціал лісових екосистем знижувався сотні років.

Вплив лісу на процеси селеутворення наступний. Наявність лісу на схилах зменшує піки паводків у 4 рази, що в свою чергу зменшує ймовірність селеутворення. Паводко-захисні властивості лісу добре виражені під час дощів з кількістю опадів до 60-80 мм. Вони вичерпуються при 2-3-денних опадах обсягом 100-120 мм [57].

Йдеться, насамперед, про суцільні вирубування, порушення вікового, порідного та повнотного складу лісостанів, а також надмірне розорювання схилів та розширення полонин.

Протягом двох останніх століть лісистість території Карпат біля рівнинних районах і передгір'ях знизилась до 20,2 %, а в гірських – до 53,5 % [125]. Наступ на ліс здійснювався шляхом розширення полонин і збільшення орних земель біля долин річок в агрокультурний період.



Рис. 2.24. Графік багаторічної селевої активності і середньорічної температури повітря

Значної шкоди лісам завдали необґрунтовано великі обсяги вирубок у післявоєнні роки, які здійснювали переважно суцільними методами та екологічно шкідливими системами трельювання лісу [63].

Особливості впливу рослинності на селеутворення наведений у таблиці 2.5.

Найбільш бурхливим паводко-утворенням характеризуються водозбори гірських потоків площею до 20 км², менш інтенсивним – річкові басейни площею до 100-120 км² і уповільненим головні басейни рік більших

Питання впливу рослинності, а особливо лісового покриву на селеві процеси Карпат неодноразово висвітлювалося в ряді публікацій [82, 74, 124, 106, 120]. Дані щодо впливу рослинності на селеутворення наведені у табл. 2.5 [120, 60]. Для аналізу розподілу осередків селесходження і впливу лісистості запропоновано застосовувати факторну ознаку «відстань до межі лісу», розподіл значень якої наведено на рис. 2.26.

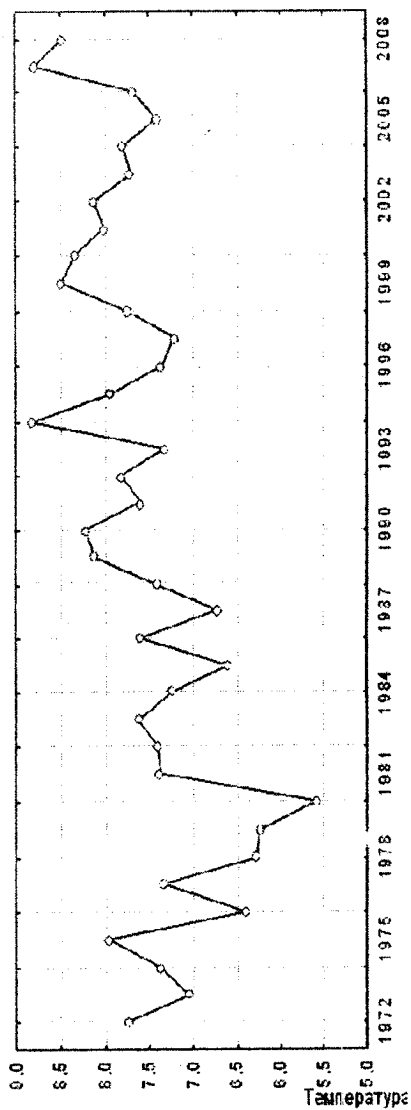


Рис. 2.25. Часовий ряд факторної ознаки "середньорічна температура повітря"

Таблиця 2.4 Клімато-географічні особливості лісового покриву Карпат

Фізико-географічна область	Річна сума		Характер переважаючої рослинності
	Активних температур, С°	опадів, мм	
1. Закарпатська рівнина: а- низовина	2600-3000	700	Заплавні і післялісові луки, ясенево- дубові та грабово-дубові ліси.
б- височина	2500-2800	750	Дубові, буково-дубові ліси, агро- угіддя.
2. Вулканічні Карпати, низькогір'я	2400-2600	900	Букові ліси
3. Полонинсько-Чорногірська: а- лісове середньогір'я	1000-2200	1300	Букові ліси.
б- полонинське середньогір'я-високогір'я	600-1400	>1400	Букові ліси, а на північних схилах ялицево-букові, у високогір'ї криволісся душекії зеленої та субальпійські луки.
в- середньогір'я-високогір'я Чорногори	600-1400	1000-1400	Буково-ялицево-сме лекові і чисті смерекові ліси, стелюхи сосни гірської, альпійські та субальпійські луки
4. Рахівсько-Чивчинська, середньогір'я-високогір'я	600-1400	1200-1400	Мішані ліси за участю ялиці, смереки і бука, високо в горах чисті смерекові ліси та стелюхи сосни гірської

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4
5. Привододільні Карпати, середньогір'я	600-1400	1000-1200	Чисті смерекові ліси, рідше буково-ялицево-смерекові, стелюхи сосни гірської, кам'янисті пустища, субальпійські луки.
6. Зовнішні Карпати: а- низькогір'я Бескид	1800-2200	900	Ялицево-букові ліси.
б- середньогір'я Горган та Покуття	1400-1800	800-1000	Смереково-ялицево-букові, вище чисті смерекові ліси і криволісся сосни гірської, кам'янисті субальпійські пустища та полонини.
в- низькогір'я Передкарпаття	1800-2400	700-800	Смереково-ялицево-букові, у нижній частині ялицево-буково дубові ліси
7. Передкарпатська височина: а- західна частина	2200-2600	700-800	Ялицево-буково-дубові ліси, агроугіддя.
б- східна частина	2400-2800	<700	Дубово-букові ліси, агроугіддя.

Сейсмічність території. Важливим фактором у розвитку та активізації гравітаційних процесів виступає сейсмічність території, яку визначають як осередки сильних землетрусів із зони Вранча, так і місцеві осередки

Таблиця 2.5. Вплив рослинності на схилах на селеутворення

Перешкоджає селеутворенню	Сприяє селеутворенню
Вплив на водний режим	
<p>Переведення поверхневого стоку у внутрішньогрунтовий. Затримання опадів кронами дерев і захист завдяки цьому ґрунтів від механічного пошкодження краплями дощу. Витрата вологи на транспірацію та випаровування з поверхні ґрунту. Регулювання паводкових вод.</p>	<p>Збереження постійної вологості на вищому рівні, ніж на сусідніх ділянках, де рослинності немає. Нагромадження більшої кількості снігу і затримання його танення, що веде до перезволоження схилу</p>
Вплив на температурний режим	
<p>Зменшення амплітуд температурних коливань, що веде до зменшення фізичного вивітрювання</p>	
Перетворення променевої енергії	
<p>Зміна відбивної здатності поверхні схилу, що може зменшити або збільшити загальне надходження тепла.</p>	<p>Поглинання частини променевої енергії</p>
Вплив на міцність субстрату	
<p>Закріплююча роль корених систем у пухких відкладах.</p>	<p>Руйнування корінням скельних порід.</p>
Хімічний вплив	
<p>Приведення в зв'язаний стан деяких рухомих сполук.</p>	<p>Вилуговування, що веде до наступного вимивання деяких сполук. Руйнування лишайниками скельних порід.</p>
Вплив на вітер	
<p>Захист схилів від вітрової ерозії</p>	<p>Передача внаслідок парусності крони навантаження на схил і руйнування субстрату в зв'язку з вітровальністю дерев</p>

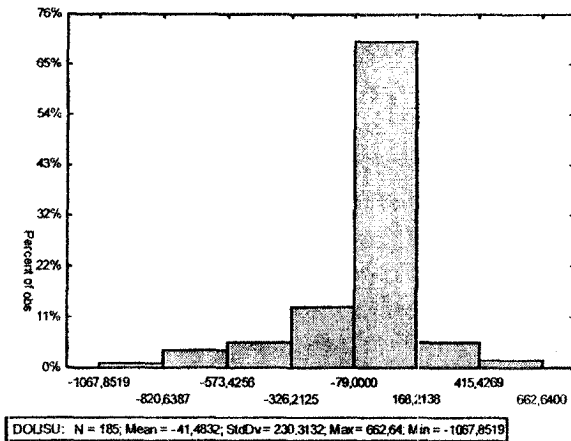


Рис. 2.26. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "відстань до межі лісу"

землетрусів з урахуванням приросту сейсмічності від впливів техногенезу. Карпати характеризуються відносно невисокою сейсмічною активністю. Винятком є крайня південна зона – Закарпатський внутрішній прогин.

Сучасні тектонічні рухи визначають закономірності розвитку гідромережі та екзогенних геологічних процесів, у тому числі селів, крім цього, вони зумовили формування низки похованих долин, а також визначили загальні тенденції ерозійної діяльності водотоків шляхом зміни таких морфометричних показників рельєфу, як глибина вертикального розчленування, густина горизонтального розчленування та крутизна поверхонь. Звуження річкових долин, у яких відбувається руйнівна діяльність селевих потоків, відповідає в більшості випадків всім антиклінальних складок, де виходять на денну поверхню більш стійкі до розмиву породи (в умовах Карпат це зазвичай пісковики, різноманітні окременілі породи,

вапняки та ін.), та лініям насувів. Найважливішими характеристиками таких рухів є інтенсивність, спрямованість і контрастність. Постійне оновлення експозиції схилів унаслідок інтенсивних вертикальних рухів веде до посиленого формування пухкоуламкових накопичень і збільшення повторюваності селевих потоків. Тектонічні порушення, зазвичай, супроводжуються зонами підвищеної тріщинуватості, що сприяє посиленню процесів вивітрювання, нагромадженню їх продуктів і формуванню матеріалу, який у подальшому може створити тверду складову селю.

Сучасний геодинамічний режим літосфери Закарпаття характеризується переважанням стиску, орієнтованого приблизно вхрест Карпат. Разом тим у західній частині Закарпатського прогину встановлено зону розтягу літосфери, яка супроводжується диференційованим опусканням денної поверхні.

Сейсмічність Закарпаття є досить розсіяною по всій території. Це зумовлено дрібно блоковою структурою літосфери регіону з наявністю численних розломів різного порядку та просторової орієнтації. З іншого боку, ця сейсмічність групується в зонах ряду найбільших розломів діагонального північно-західно – південно-східного (субкарпатського) та північно-східно – південно-західного (поперечного, антикарпатського) напрямів. Зокрема, ряд найсильніших землетрусів приурочені до зони Закарпатського та Припанонського глибинних розломів субкарпатського простягання. Паралельно їм і приблизно посередині між ними (по лінії Ужгород-Мукачеве – Вел. Копаня-Буштино) простежується ще одна смуга підвищеної сейсмічної активності з землетрусами дещо меншої сили. Ще ряд зон, приурочений до основних

розломів поперечного та меридіонального простягання – Мукачівського, Берегівського, Боржавського, Виноградівського, Тячівського, Рахівського та місць їх перетину з субкарпатським.

Інтенсивність землетрусів згідно зі схемами сейсмічного районування складає у межах області 6-7 балів. В окремих місцях, на ділянках поширення пухких обводнених відкладів, на схилах інтенсивність землетрусів збільшується на 1 бал.

Сейсмічність Українських Карпат визначається землетрусами, що виходять із глибокофокусних (100-180 км) підкорових осередків, розташованих на стику Східних і Південних Карпат на території Румунії (масив Вранча), а також осередками, розташованими в Закарпатті й на суміжних з ним територіях Словаччини, Угорщини, Румунії.

Землетруси зони Вранча зароджуються на невеликій ділянці з центром біля $45,8^{\circ}$ північної широти і $26,5^{\circ}$ східної довготи в місці різкого згину Карпатської дуги. Фокальна зона знаходиться у високошвидкісному блоці поблизу контакту з низькошвидкісним блоком. Характерна висока концентрація епіцентрів на площі меншій 1×1 км, велика площа інтенсивних струшувань, що сягає мільйонів квадратних кілометрів, із переважанням у спектрі низькочастотних коливань. Найсильніші з відомих землетрусів із зони Вранча з відомим макросейсмічним ефектом в Українських Карпатах та на прилеглих територіях відбувалися в 1738, 1802, 1829, 1838, 1908, 1912, 1934, 1940, 1977, 1986, 1990 роках. Інтенсивність деяких із цих землетрусів за загальним ефектом на території, що розглядається, оцінюється в 5-6 балів.

Порівняння карт ізосейст найхарактерніших землетрусів зони Вранча показує, що прояв сейсмічного ефекту на земній поверхні землетрусів приблизно однакової магнітуди залежить від просторового положення кожного осередку і захоплює різну за розміром територію. Вплив землетрусів цієї зони на Закарпаття визначається особливостями поширення сейсмічних хвиль. Збільшення сейсмічного ефекту пов'язується також із високим рівнем ґрунтових вод (до 1-5 м від поверхні).

Типовим, але не найсильнішим прикладом землетрусів Вранча, був землетрус 4 березня 1977 року. Глибина його осередку 120 км, магнітуда – 7,2. Інтенсивність в епіцентрі 8,5-9 балів. У Закарпатській області інтенсивність цього землетрусу склала 4-5 балів. Випромінювання енергії із осередку землетрусу 4.03.1977 року відбувалося в північно-східному напрямку. Більша частина Українських Карпат при цьому залишилась в сейсмічній тіні і макросейсмічний ефект тут не перевищив 3-4 балів.

Сейсмічні впливи прямо й опосередковано впливають на розвиток більшості екзогенних геоморфологічних процесів, перш за все гравітаційних. Поява деяких зсувів, обвалів відмічалася безпосередньо при землетрусах, а також через деякий час (до 1 року). У першому випадку землетрус виступає як спусковий механізм уже підготовленого процесу, у другому – сейсмічні впливи поряд з іншими процесами беруть участь у підготовці зміщень. Пухкоуламковий матеріал утворений при цьому в перспективі може скласти тверду складову селевого потоку [110].

Сейсмічність впливає на низку геодинамічних процесів, у тому числі на формування твердої фази селевих

потоків за рахунок сейсмічних обвалів, зсувів, осипів і опливин. Часті, хоч і слабкі підземні поштовхи призводять до послаблення внутрішніх зв'язків у гірських масивах, що відіграє важливу роль у підготовці потенційних запасів твердої фази селевих потоків у сильно тріщинуватих і вивітрених породах. Навіть незначні флуктації сейсмічного поля прямо чи опосередковано впливають на селі зсувного і транспортно-зсувного типів. Як йдеться в праці [31], у сейсмічності Карпат чітко виділяються періоди активізації, що замінюються майже повним затишшям для всього регіону. Роль землетрусів у формуванні джерел твердої складової селів значна: до залишкових сейсмодислокацій приурочені крупні зони підвищеної тріщинуватості гірських порід, які сприяють вивітрюванню і формуванню уламкового матеріалу. Для території досліджень просторова градація сейсмічності з необхідним ступенем детальності відсутня. Зміна сейсмічної активності в часі відображена на рис. 2.26 факторною ознакою "сумарна енергія землетрусів".

Гідрологічна та гідрогеологічна будова. Основні риси гідрографії визначаються такими природними умовами, як геологічна будова, клімат та гідрологічні особливості [107]. У Карпатському регіоні найгустіша в Україні гідромережа, її протяжність у середньому 0,5-0,7 км, а в Закарпатті 1,7 км на квадратний кілометр, річний об'єм стоку перевищує 12 млрд м³ [127, 36].

Розглянемо детальніше гідрологічну мережу Закарпаття, оскільки досліджувана територія лежить у її межах, а селеві процеси безпосередньо пов'язані з її особливостями. Наведена далі характеристика гідрологічної мережі запозичена з роботи [15].

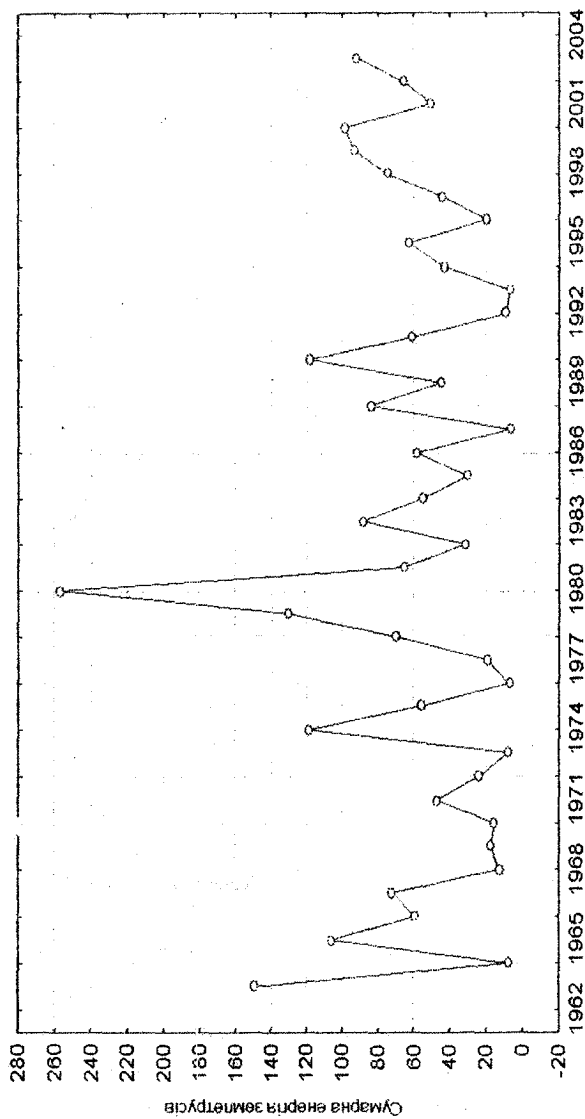


Рис. 2.26. Часовий ряд факторної ознаки "сумарна енергія землетрусів"

Усі річки Закарпаття належать до басейну Тиси (рис. 2.27). Найбагатшою річками та струмками є гірська частина Закарпаття, що зумовлено випаданням великої кількості опадів. Гірські річки переважно невеликі (до 20 км завдовжки), але повноводні. Унаслідок розчленованості хребтів Карпат і їх відрогів площі річкових басейнів також незначні. Найбільші площі басейнів мають притоки Тиси - Латориця (7860 км²), Уж (2010 км²), Боржава (1360 км²), Ріка (1240 км²) та Тересва (1220 км²). У річкових системах Закарпаття домінуючими елементами є водотоки I порядку (за схемою класифікації Столера-Філософова (табл. 2.6) [34, 15].

При збільшенні рангу ріки кількість водотоків у річковій системі різко зменшується (табл. 2.7) [15]. Так, наприклад, у басейні р. Тересви річки II рангу становлять приблизно 16 %, III – 3 %, а IV-V - менше 1 %.

У роботі [15] наводиться наступна характеристика річок Закарпатської області. Річки мають типовий гірський характер. Типи русел залежать від висотного положення, що відображено на рис. 2.28. Долини їх прямі або слабо розчленовані, біля витоків часто мають вигляд глибоких ущелин з вузьким (1-3 м) дном. У межах гірського масиву вони мають V-подібну, зрідка язгикоподібну форму.

Ширина долин невелика (від 50-80 м до 0,8-2,0 км), схили круті та сильно круті до стрімких, заввишки 60-100 м; часто вони зливаються із схилами гір та вододілів і перерізаються мережею дрібних водотоків. Подекуди простежується перша тераса завширшки 40-300 м із стрімкими уступами висотою 7-18 м, на деяких річках подекуди простежується і друга тераса, що піднімається над першою уступом на 12-15 м.

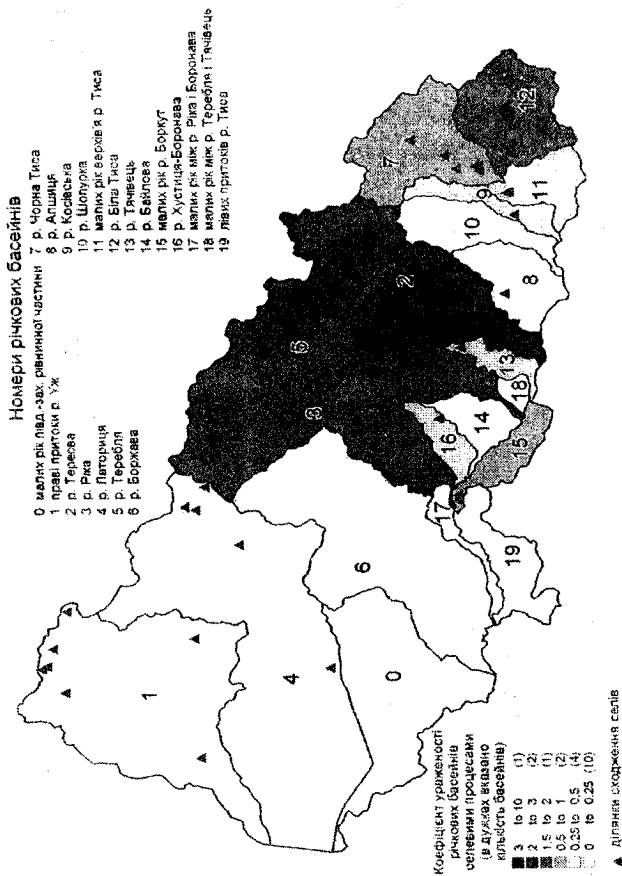


Рис.2.27. Схема басейнів річок Закарпатської області та їхньої ураженості селєпроявами

Таблиця 2.6. Схема гідрографічної мережі Закарпатської області за кількістю річок різних рангів

№ п/п	Басейн річки	Кількість річок за рангами (%)					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Тересва	79,4	16,3	3,4	0,8	0,1	0,01
2	Теребля	52,1	22,9	12,3	5,3	5,9	1,5
3	Ріка	76,7	18,0	14,1	0,9	0,2	0,1
4	Латориця	77,0	17,9	4,0	0,8	0,2	0,1
5	Уж	76,0	18,4	4,4	0,9	0,2	0,1
6	Боржава	75,6	19,1	4,4	0,8	0,1	0,01
7	Тиса	74,3	19,4	4,4	1,3	0,4	0,2

Таблиця 2.7. Структура річкових систем Закарпаття за довжиною річок різних рангів

№ п/п	Басейн річки	Довжина річок за рангами (%)					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Тересва	72,5	2,7	10,0	8,3	5,2	1,3
2	Теребля	52,0	22,8	12,4	5,3	5,9	1,6
3	Ріка	54,3	22,6	12,3	4,2	2,2	4,4
4	Латориця	55,0	21,5	10,8	6,5	2,2	4,0
5	Уж	51,7	26,8	10,5	5,6	3,9	1,5
6	Боржава	51,2	26,1	11,7	4,7	6,3	0,01
7	Тиса	55,4	29,6	8,4	4,6	1,8	0,2

Заплава вузька (здебільшого 50-200 м), на окремих ділянках відсутня, під час паводків затоплюється на 1-5 днів шаром води 0,4-4 м. Річки протікають у нешироких (1-10 м) річищах, швидкість течії становить 1-4,5 м/с. У річищах є багато перепадів і порогів, дно галечникове та

галечниково-кам'янисте, у витоків річок нагромадження валунів; багато річок селеносні. Глибина потоків 5-30 см, зрідка 0,8-1 м; береги заввишки від 1-3 до 5-10 м, круті і урвисті, часто зливаються зі схилами долини. Падіння річок значне, особливо у верхів'ях, де похили досягають кількох десятків метрів на кілометр.

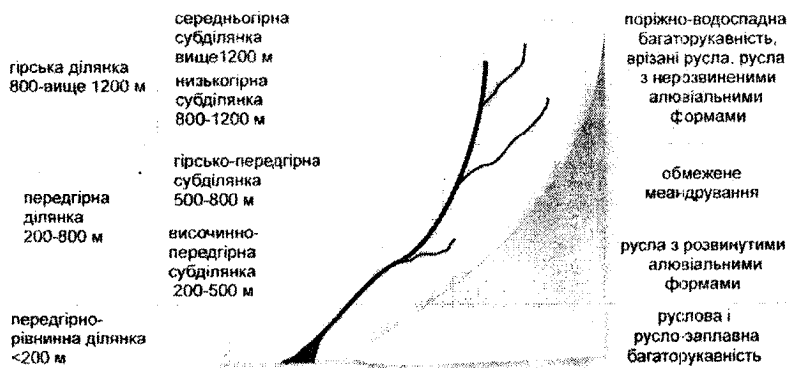


Рис. 2.28 Залежність типу русла річки від абсолютної висоти

Типи русел річок басейну Тиси: поріжно-водоспадні; врізані; з нерозвинутими алювіальними формами; з розвинутими алювіальними формами; обмеженого меандрування; з русловою багатурукавністю; з русло-заплатною багатурукавністю.

Поріжно-водоспадні русла характерні для верхів'їв річок, яким відповідають висоти вище 1200 м над рівнем моря. Як правило, тут спостерігається безструктурний транспорт наносів. На висоті біля 800 м поріжно-водоспадні русла заміщуються руслами з нерозвинутими алювіальними формами, які часто відносно-прямолінійні,

врізані. При висотному положенні від 200 до 500 м русла більш активно меандрують, мають місце поодинокі розгалуження, частіше зустрічаються акумулятивні форми (осередки і коси). Крім того, зростають морфометричні показники русла (ширина, глибина, площа поперечного перерізу і зменшуються похили, швидкості течії). Для цієї субділянки характерним типом є русла з розвинутими акумулятивними формами, а також розгалужені русла.

Висотам до 200 м притаманна руслова та русло-заплавна багаторукавність. Тут русла з розвинутими акумулятивними формами в умовах незначних похилів, швидкостей, при досить значних ширинах, трансформуються в руслову багаторукавність. Більш складним типом є русло-заплавна багаторукавність, яка характеризується наявністю осередків, а також сформованих островів, що поросли рослинністю, заплавних протоків, які під час паводків зливаються з рукавами русла.

Нижні течії річок характеризуються ростом акумулятивних процесів. Заплава складена більш дрібним матеріалом, який легко розмивається. Найпоширеніший тип русла на висотах від 100-200 м – руслова багаторукавність, а також русло-заплавна багаторукавність (відрізок р. Тиса від с. Вишкове до смт. Вилки).

Верхів'я самої Тиси та її приток знаходяться, як правило, у яскраво вираженій гірській місцевості у вузьких V- чи U-подібних долинах, де виходять на денну поверхню скельні породи. За таких умов (при абсолютних відмітках на водозборі 800-1200 м) формуються поріжно-водоспадні русла. Похили на таких річках значні і становлять від 40 до 100 %.

Утворення таких русел характерне для гірсько-передгірних ділянок річок. На них спостерігаються вже значно менші похили, які можуть коливатися в межах 20-40 %. Глибина потоку на таких річках, як правило, не перевищує 0,5 м. За таких гідравлічних і морфометричних умов у руслах річок не можуть активно утворюватися певні акумулятивні форми, так як більша частина наносів є транзитною. Особливо це стосується паводків, під час яких гідравлічні параметри потоку зростають і транспорт наносів у руслі набуває активної форми. Вищеописані типи русла частіше зустрічаються в середніх течіях річок басейну Верхньої Тиси (Чорна Тиса, Терєбля, Ріка), а також у нижніх течіях «високогірних» притоків (Мокрянка, Брустуранка, Рипинка, Красна).

Середній течії р.Тиса від м.Тячів до м. Хуст і нижнім течіям річок Терєсва, Терєбля, Ріка, тобто височинно-передгірській і передгірно-рівнинній ділянці, притаманна руслова багаторукавність. Заплави цієї частини двосторонні, низькі, доволі широкі. У багатьох випадках мають широке господарське використання [15].

Неможливо не згадати і про каналізовані (одамбовані) русла. На досить коротких ділянках деяких із вказаних річок (Терєсва, Терєбля, Тиса) бувають каналізовані (одамбовані з обох боків русла), але вони не мають значного розповсюдження. Існування цього типу русла обумовлене господарською діяльністю [90, 91, 105]. Оцінюючи в цілому гідроморфологічні особливості процесів руслоформування річок басейну Верхньої Тиси, слід відзначити, що переважаючими тут є русла гірських річок, на які припадає біля 90 % усієї їх протяжності. Розвиток вказаних русел загалом підпорядковується схемі формування гідроморфологічного режиму гірських річок.

Вододіл між басейнами рік Дністра і Тиси проходить по дуже розмитому Верховинському хребту, що має м'які, округлі форми рельєфу й відносно невеликі висоти (1100-1300 м), і по Горганах, які відрізняються сильною звивистістю та розчленованістю хребтів із гострими вершинами, що досягають 1400-1800 м. Головні вершини вододілу - гори Халич (1335 м), Кінчик (1252 м), Яворник (1123 м), Горган (1443 м), Брятківське Дуже (1792 м), Доуха (1373 м). Розташований на північний захід від Верховинського хребта і Горган Полонинський хребет поділений вузькими і глибокими долинами приток Тиси на плосковершинні масиви (Полонина Рівна, Полонина Боржава, Полонина Красна). Східніше долини Тиси Полонинський хребет переходить у гірські групи Свидовця й Чорногори, що відрізняються наявністю льодовикових форм рельєфу і більшими висотами: гора Говерла - 2061 м, гора Петрос - 2020 м, гора Ребра - 2007 м.

Вигорлат-Гутинський вулканогенний хребет, що розташований на північний захід від Полонинського, також розчленований на ряд масивів долинами річок Уж, Латориця, Боржава й Тиса і характеризується малими або середніми висотами та м'якими формами рельєфу.

Притисенська низовина, що займає 35 % всієї площі водозбору, являє собою рівнину з окремими гривами і бугристими підняттями, з частими улоговинами, блюдцеподібними западинами, частково заболоченими.

Окрім Чорної Тиси (довжина 49 км) та Білої Тиси (довжина 26 км), головними притоками Тиси в межах України є: праві - р. Косівська (44 км), р. Апшиця (11 км), р. Тересва (32 км), р. Теремля (91 км), р. Ріка (92 км), р. Боржава (106 км); ліва - р. Батар (53 км). Разом з

дрібнішими притоками вони утворюють добре розвинену мережу, що має деревоподібні обриси [15].

Спостереження за водним режимом річки здійснюються на семи гідрологічних постах: Рахів - з 1949 р., Ділове - з 1913 р., Великий Бичків - з 1945 р., Тячів - з 1942 р., Хуст - з 1946 р. Вилоч - з 1886 р., Чоп - з 1950 р. Крім того, у різний час діяли пости біля смт. Солотвин (1864-1941 рр.), с. Вишкове (1928-1941рр.), с. Текове (1888-1941 рр.), с. Вари (1880-1961 рр.).

Весняна повінь рідко спостерігається в чистому вигляді, тому що танення снігу, як правило, збігається з випаданням дощів. Рівень води спочатку (за 4-5 днів до скресання річки) зростає поволі, потім інтенсивно. Найшвидше підняття було відзначено в 1935 р. біля м. Чоп і становило 7,4 м/добу. Весняна повінь складається зазвичай із кількох послідовних гребенів і досягає максимуму в першій половині березня або затягується на тривалий час і, живлячись весняними дощами, утворює пік у кінці квітня - на початку травня. Значення найвищого рівня за довжиною річки змінюється від 1-5,3 м під час пересічної весняної повені до 2,5-8,6 м при винятково високій. Спад рівня відбувається з тією самою інтенсивністю, що й підняття, при високих повенях і значно уповільнюється при низьких [15].

У період із червня до вересня проходить 6-12 дощових паводків. Вони тривають, як правило, по 1-6 днів, характеризуються інтенсивним підняттям (2-4 м/добу) і затяжним спадом. В окремі роки їхня висота перевищує максимум весняної повені. Осінні дощі зумовлюють значне підвищення рівня в жовтні-листопаді.

Різкі підняття рівня спостерігаються і в зимовий період при нетривалих відлигах з одночасним випаданням дощів.

Басейн р.Тиса належить до одного з найбільш селенебезпечних районів Закарпаття. На цій території завжди є потенційна небезпека виникнення селів. За географічним положенням та кліматичними умовами територія басейну ріки Тиса належить до зони активних дощів і відповідно відноситься до найбільш паводконебезпечних регіонів Європи [15].

Нижче наводимо гідрографічну характеристику річок Закарпаття, у басейнах яких часто спостерігаються селесходження, та розподіли окремих характеристик селів.

Річка Тересва - права притока р. Тиси, утворюється при злитті річок Мокрянки (довжина 32 км) і Брустуранки (довжина 15 км) біля смт Усть-Чорна, впадає до Тиси на 893-му кілометрі від її гирла. Басейн р. Тересви зображено на рис. 2.26. При впадінні річка ділиться на два рукави довжиною по 0,7 км, з яких правий багатоводніший.

Довжина річки 56 км, площа водозбору 1220 км², загальне падіння річки 340 м, середній похил 6,1 ‰, середній зважений 8,2 ‰, коефіцієнт звивистості 1,30 [15].

Крім річок Мокрянки та Брустуранки, що при злитті утворюють р. Тересву, до неї впадають такі основні притоки: річки Красна (довжина 14 км), Терешова (28 км), Лужанка (34 км), струмок Вільховчик (14 км).

Близько 80 % площі басейну припадає на гірську область із позначками вище 600 м; окремі вершини досягають 1500-1800 м. Ґрунти лівобережжя піщанисто-середньо-суглинисті, на правобережжі хрящуваті; ґрунтовий покрив – середньо опідзолені буроземи; у пониззі на правобережжі ґрунти пілувато-

середньосуглинисті, дерново- середньо підзолисті. Селі переважно грязе-кам'яного характеру.

Спостереження за водним режимом проводяться на гідрологічних постах біля смт Усть-Чорна (з 1945 р.), Дубове (з 1924 р.) та с. Нересниця (з 1948 р.).

Характерною особливістю режиму річки є безперервне проходження паводків впродовж усього року [15]. Серед усіх річок Тиси Тересва характеризується найвищою селевою активністю. Зафіксовані і занесені до кадастру селесходження наведені точками на рис. 2.29

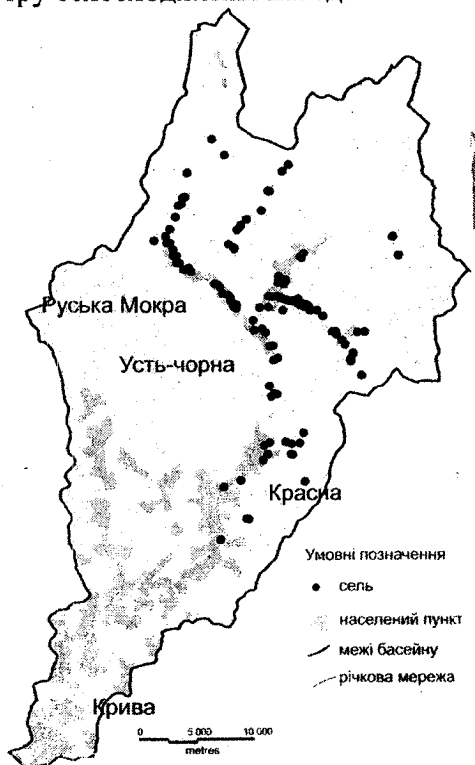


Рис. 2.29 Басейн р. Тересви із зафіксованими селепроями.

Більш як половина зафіксованих селесходжень у басейні Тересви спостерігались на висоті 500-700 м над рівнем моря (рис. 2.30). Схили на цій висоті відрізняються значним кутом нахилу, що спонукає розвитку селевим процесам.

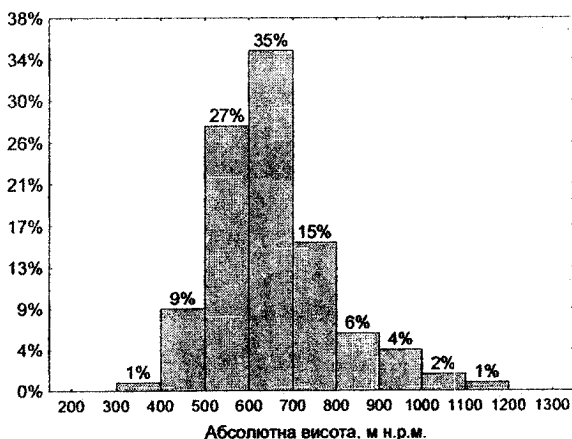


Рис. 2.30 Розподіл значень характеристики «абсолютна висота селю» (басейн р. Тересва)

Морфологічні характеристики конусів виносу селів за десятиліття значної селевої активності в цьому басейні (1998-2003 рр.) зображено на гістограмах на рис. 2.31 - 2.35. Формування селів на схилах певних експозицій можна простежити за рис. 2.36. З рисунка видно, що більшість селевих водотоків розміщені на північно-східних, північних і південно-західних експозиціях схилів.

Річка *Теребля* бере початок із джерел на західному схилі гори Блотняк на висоті 1040 м, впадає до р. Тиси з правого берега на 876-му кілометрі від її гирла, біля смт. Буштин. Басейн річки зображено на рис. 2.37.

Довжина річки 91 км, площа водозбору 750 км², загальне падіння 845 м, середній похил 9,3‰, середній зважений 8,1 ‰, коефіцієнт звивистості 1,38 [15].

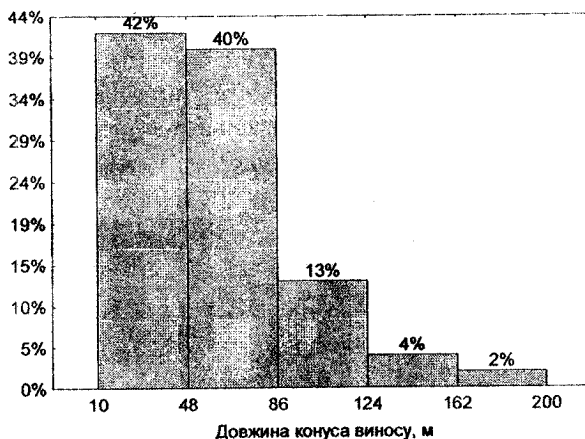


Рис. 2.31 Розподіл значень характеристики «довжина конусу виносу селю» (басейн р. Тересва)

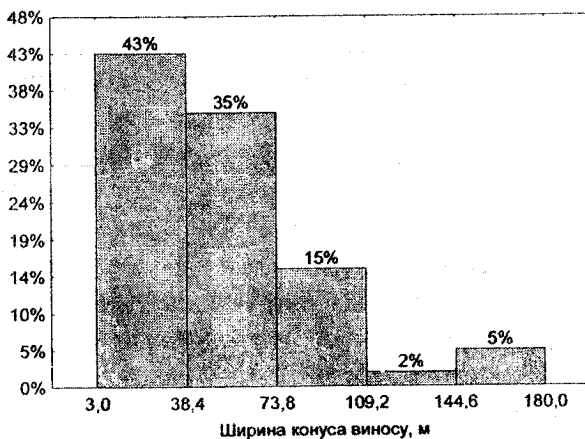


Рис. 2.32 Розподіл значень характеристики «ширина конусу виносу селю» (басейн р. Тересва)

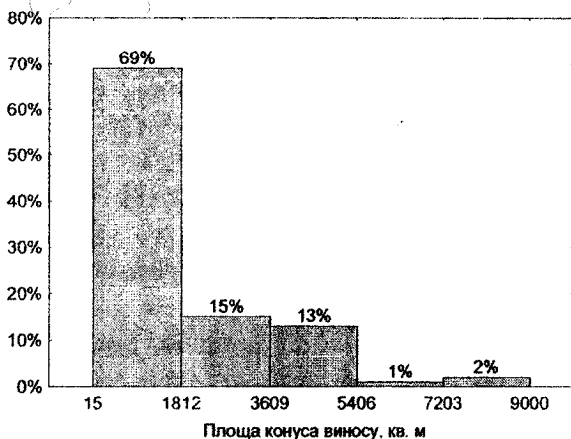


Рис. 2.33 Розподіл значень характеристики «площа конусу виносу селю» (басейн р. Тересва)

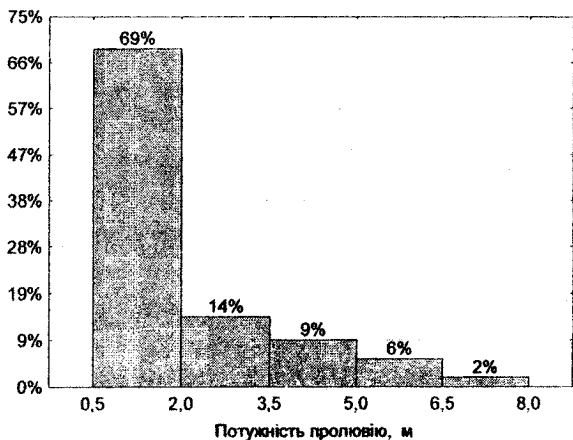


Рис. 2.34 Розподіл значень характеристики «потужність пролювію» (басейн р. Тересва)

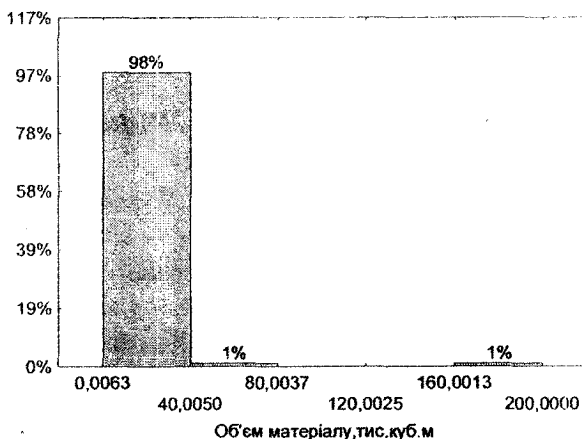


Рис. 2.35 Розподіл значень характеристики «об'єм матеріалу» (басейн р. Тересва)

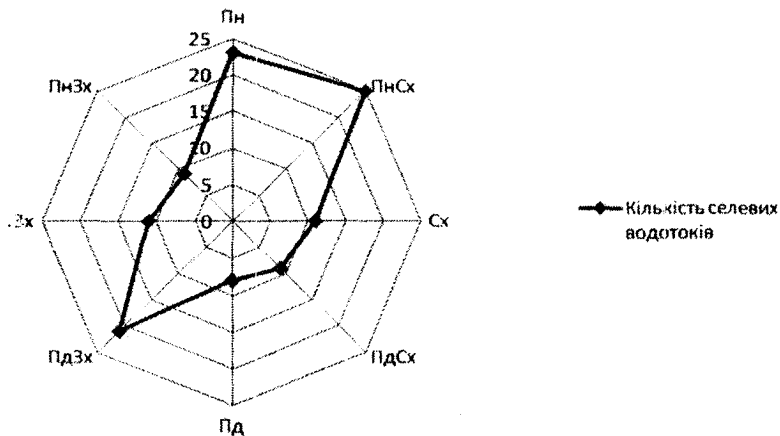


Рис. 2.36 Діаграма кількості селевих водотоків у басейні р. Тересви на схилах відповідних експозицій

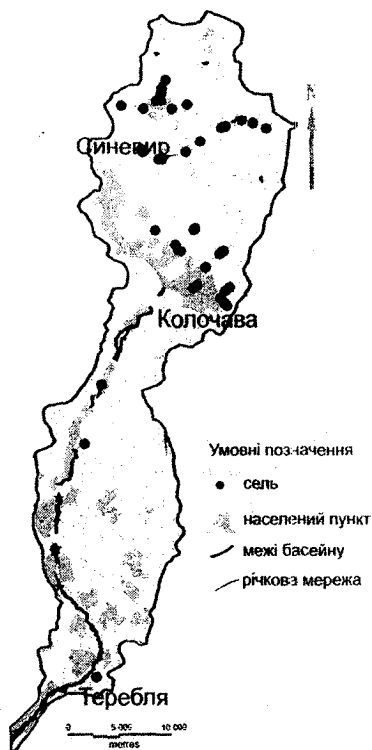


Рис. 2.37 Басейн р. Тереблі із зафіксованими селепроявами

Основні притоки - річки Озерянка (довжина 18 км), Сухар (довжина 14 км), Уголька (довжина 27 км) - впадають до Тереблі з лівого берега. Верхня і середня частини водозбору належать до району Горган і Полонинського хребта, нижня - до передгір'я Карпат і до Верхньо-Тисенської улоговини. Басейн річки асиметричний, сильніше розвинений по лівобережжю. Найбільша довжина його 66 км, середня ширина 11 км. Вододільна лінія має загальну довжину 184 км.

Рельєф території басейну здебільшого середньогірський, окремі вершини досягають значної висоти: гори Озерна - 1496 м, Передня - 1543 м, Стримба - 1719 м, Менчул - 1497 м. Найбільша кількість селесходжень відбувається на висотах 600-900 м н.р.м., це добре видно на гістограмі рис. 2.35. Селі переважно грязекам'яного характеру. Морфологічні характеристики конусів виносу селів за десятиліття значної селевої активності в цьому басейні (1998-2008 рр.) наведено на рис. 2.38-2.43. Селеві басейни в більшості мають північно-східну експозицію (рис. 2.44). Нижня частина водозбору являє собою плато, розчленоване річковими долинами на окремі ували з широкими плоскими або куполоподібними вершинами, складеними пилувато- і середньо-суглинистими ґрунтами [15].

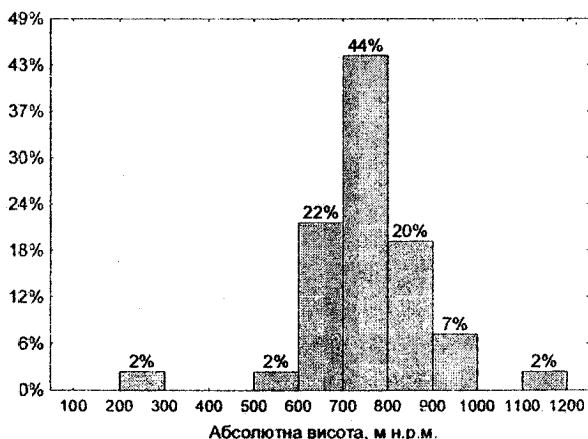


Рис. 2.38 Розподіл значень характеристики «абсолютна висота селю» (басейн р. Теребля)

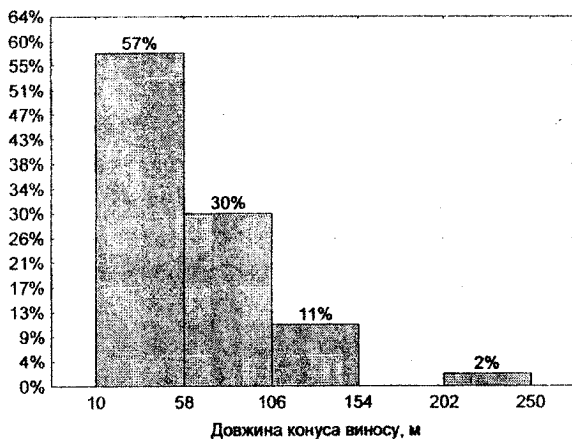


Рис. 2.39 Розподіл значень характеристики «довжина конуса виносу селю» (басейн р. Теробля)

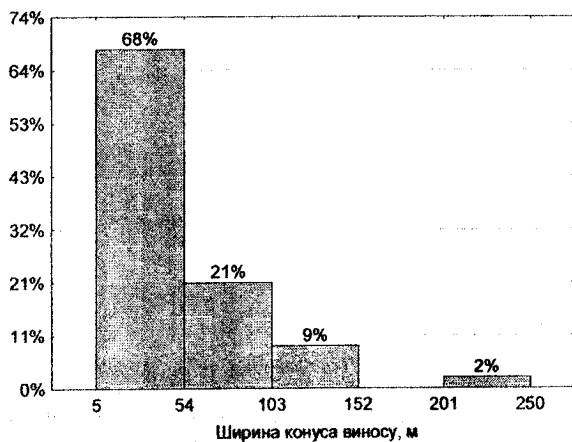


Рис. 2.40 Розподіл значень характеристики «ширина конуса виносу селю» (басейн р. Теробля)

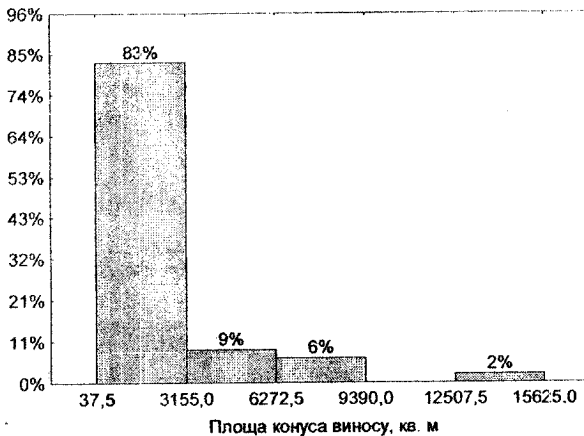


Рис. 2.41 Розподіл значень характеристики «площа конуса виносу селю» (басейн р. Тересля)

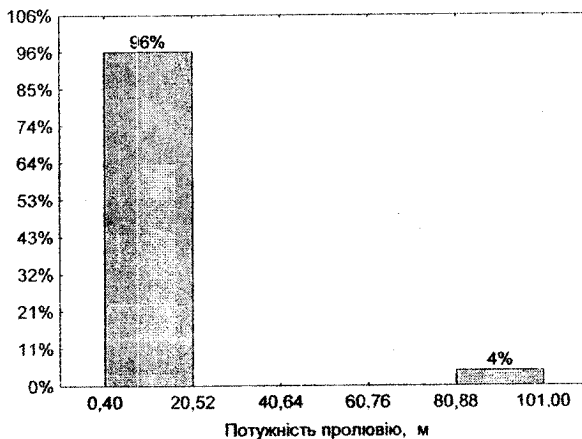


Рис. 2.42 Розподіл значень характеристики «потужність пролювію» (басейн р. Тересля)

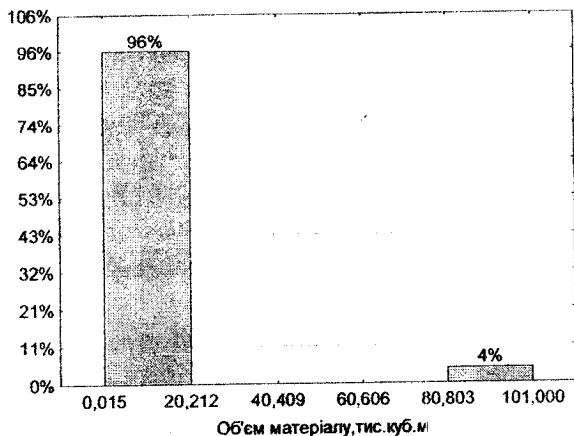


Рис. 2.43 Розподіл значень характеристики «об'єм матеріалу» (басейн р. Теремля)

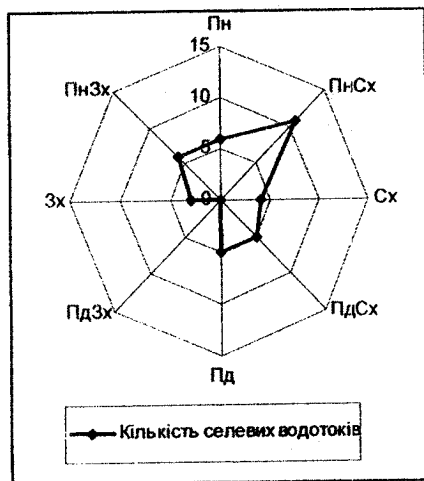


Рис. 2.44 Діаграма кількості селєвих водотоків у басейні р. Теремлі на схилах відповідних експозицій

Для водного режиму р. Теремлі вище водосховища, як і для інших річок цього району, характерні часті паводки протягом всього року, однак максимальні витрати, як правило, формуються при сніготаненні [15].

Річка Ріка - одна з найбільших приток р. Тиси, бере початок із джерел на висоті 1120 м на схилі гори Чорна Ріпа, впадає до Тиси з правого берегу у 850 км від гирла. Басейн річки зображено на рис. 2.45.



Рис. 2.45 Басейн р. Ріки із зафіксованими селепроявами

Довжина річки 92 км, площа водозбору 1240 км², загальне падіння 963 м, середній похил 10 ‰. Половина усіх занесених до кадастру селесходжень у басейні припадає на висоти 400-600 м (рис. 2.46). Селеформування на висотах 300-400 м відбувається, завдяки наявності значних кутів нахилу та сприятливих геологічних умов. Селі переважно грязе-кам'яного характеру. Гістограми основних морфометричних характеристик конусів виносу селів за період спостережень – 1998-2008 рр. наведені на рис. 2.47-2.51.

Основні притоки: праві - річки Голятинка (довжина 20 км), Ріпинка (20 км), Осава (18 км); ліві - річки Бистра (12 км) та Хустиця (35 км). Басейн асиметричний, із краще розвиненим правобережжям де наявні стрімчаки. Це пояснює переважання північної, північно-східної та східної експозиції схилів, де формуються селі (рис. 2.52) [15].

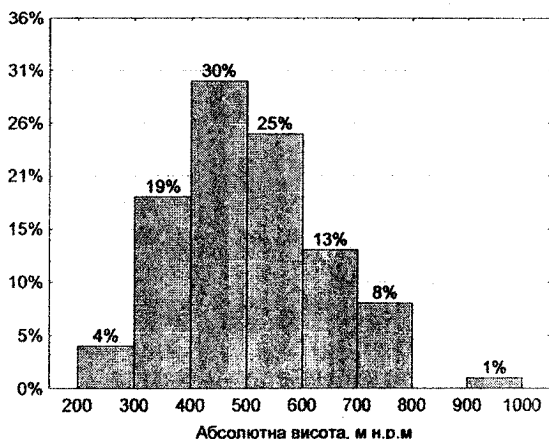


Рис. 2.46 Розподіл значень характеристики «абсолютна висота селю» (басейн р. Ріка)

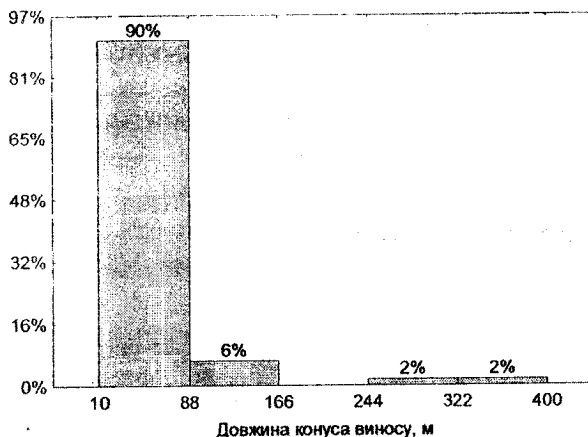


Рис. 2.47 Розподіл значень характеристики «довжина конусу виносу селю» (басейн р. Ріка)

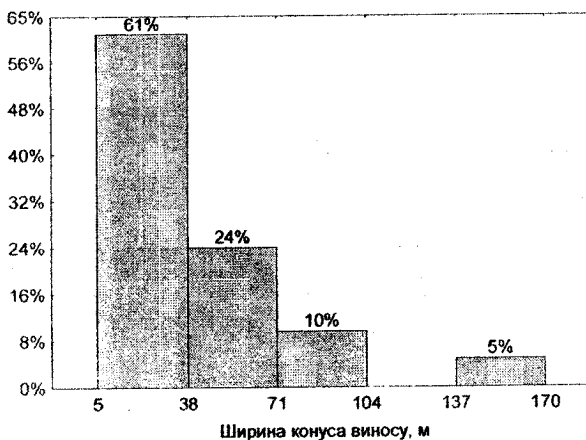


Рис. 2.48 Розподіл значень характеристики «ширина конусу виносу селю» (басейн р. Ріка)

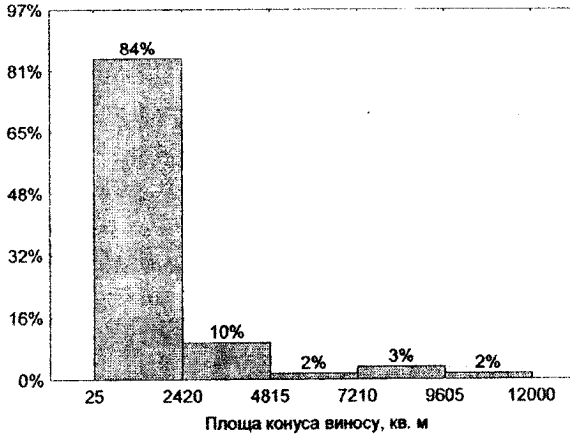


Рис. 2.49 Розподіл значень характеристики «площа конуса виносу селю» (басейн р. Ріка)

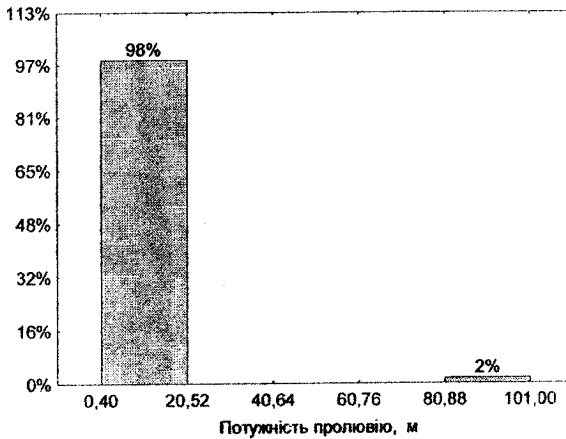


Рис. 2.50 Розподіл значень характеристики «потужність пролювію» (басейн р. Ріка)

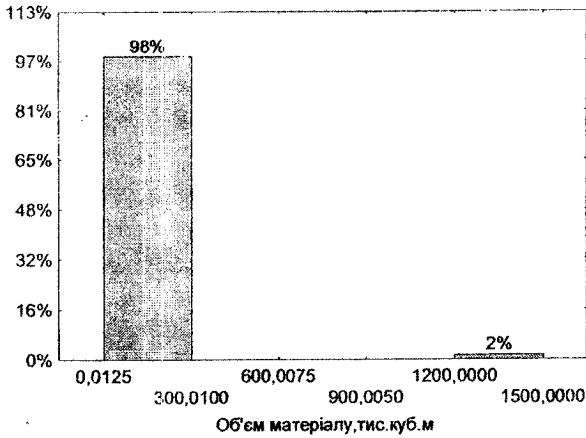


Рис. 2.51 Розподіл значень характеристики «об'єм матеріалу» (басейн р. Ріка)

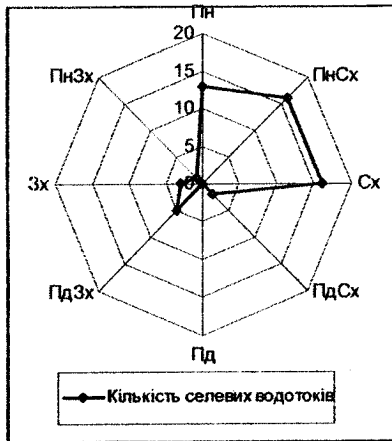


Рис. 2.52 Діаграма кількості селевих водотоків у басейні р. Ріка на схилах відповідних експозицій

Чорна Тиса - типова гірська річка, що поділяє гірські масиви Горгани, Чорні Гори та хребет Свидовець. Басейн р. Чорної Тиси наведено на рис. 2.53. Водозбір річки асиметричний, краще розвинений на лівобережжі; коливання висот досить значне (300-700 м). Водозбір складений піщанистими середніми суглинками, ґрунти - середньопідзолисті буроземи.

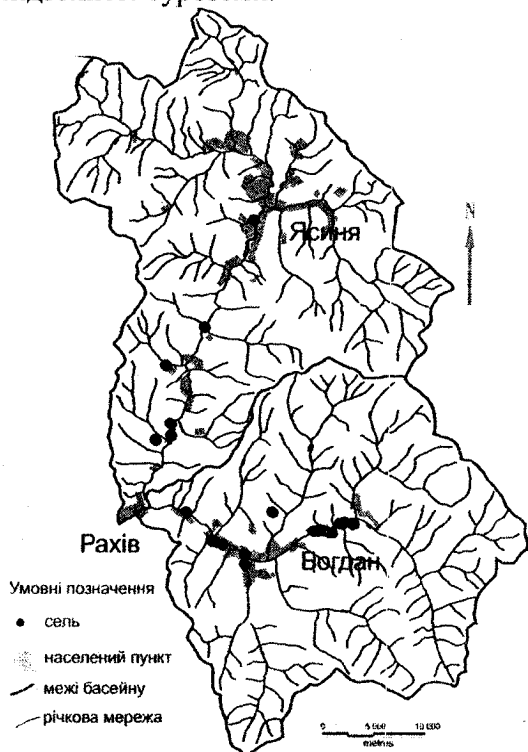


Рис. 2.53 Басейн рр. Білої та Чорної Тиси із зафіксованими селепроявами

Режимні спостереження проводяться на водомірних постах біля смт Ясіня і с. Белін.

Долина слабозвивиста, V-подібна, завширшки по дну від 20 м (у верхів'ї) до 600 м (сміт Ясіня). Схили висотою 150-200 м, опуклі, круті, залісені, сильно розчленовані.

Спостереження за водним режимом проводяться на водомірних постах: Верхній Бистрий (з 1946 р.), Міжгір'я (з 1946 р.), Нижній Бистрий (з 1946 р.), Хуст (з 1898 р.) [15].

Річка Біла Тиса. Площа водозбору 489 км², довжина 26 км, середній похил 14 ‰. Басейн річки зображено на рис. 2.50.

Утворюється злиттям гірських річок Стоговець (довжина 8,2 км) і Бальзатул (довжина 8,4 км), зливається з лівого берега з Чорною Тисою (див. вище). Притоки: праві - річки Говерла (довжина 12 км), Богдан (довжина 16 км); ліві - річки Шаул (довжина 17 км) та Квасни (довжина 15 км); крім того, до Білої Тиси впадає 130 приток, коротших за 10 км, загальною довжиною 312 км [15].

Водозбір охоплює південно-західні схили масиву Чорногори та північні схили Рахівських гір, характеризується гірським рельєфом і значним ступенем розчленування, глибокими долинами річок та струмків, що сприяє селеформуванню. Абсолютні позначки поверхні змінюються від 400 м у пригірловій частині басейну до 2061 м (гора Говерла).

Береги дуже круті, часто урвисті, в середньому висотою 1,5-3 м, місцями 4-6 м. Складені вони глинистими і скельними породами, здебільшого відкриті, зрідка порослі чагарником, у міжгір'ї - лісом. На крутих вигинах річки і біля селищ береги зміцнено колодами, зрубами, кам'яною кладкою [15].

У більшості селеві процеси в басейнах річок Білої і Чорної Тиси розвиваються на висотах 500-700 м (рис.

2.54), де поверхня складена продуктами вивітрювання флішевих піщано-глинистих відкладів. На висотах вище 900 ґрунти лучні, повсюдно з домішками щебеню та скельних порід, що сприяє утворенню водо-кам'яних селів. Гістограми морфометричних характеристик конусів виносів наведено на рис. 2.55-2.59. Схили з селевими водотоками мають переважно північну експозицію, що простежується з пелюсткової діаграми на рис. 2.60.

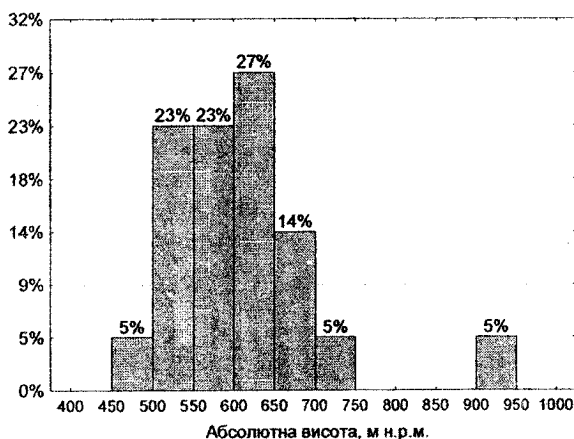


Рис. 2.54 Розподіл значень характеристики «абсолютна висота селю» (басейн рр. Чорна і Біла Тиса)

Частота формування паводків. На річках Закарпаття залежно від умов сніготанення в зимово-весняний період, а також від кількості та інтенсивності опадів навесні й улітку, одні роки характеризуються переважним розвитком весняної повені різної величини та інтенсивності і порівняно невеликими паводками в інші пори року, інші - незначними весняними повенями і натомість досить чітко вираженими різної величини та інтенсивності паводками

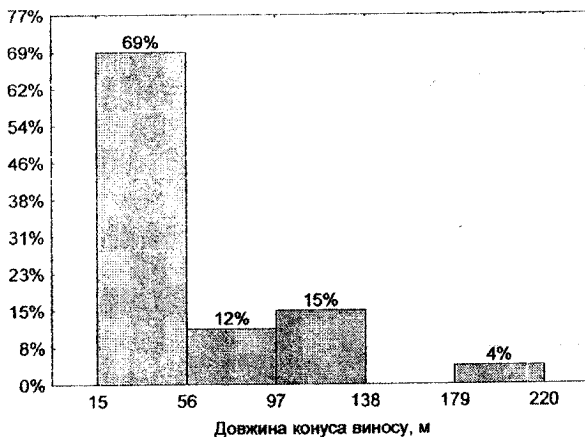


Рис. 2.55 Розподіл значень характеристики «довжина конуса виносу селю» (басейн рр. Чорна і Біла Тиса)

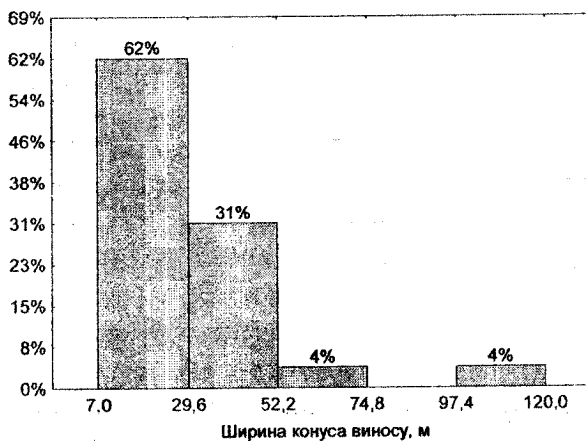


Рис. 2.56 Розподіл значень характеристики «ширина конуса виносу селю» (басейн рр. Чорна і Біла Тиса)

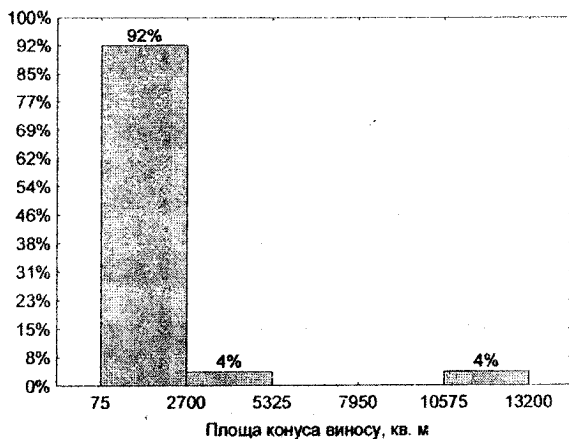


Рис. 2.57 Розподіл значень характеристики «площа конуса виносу селю» (басейн рр. Чорна і Біла Тиса)

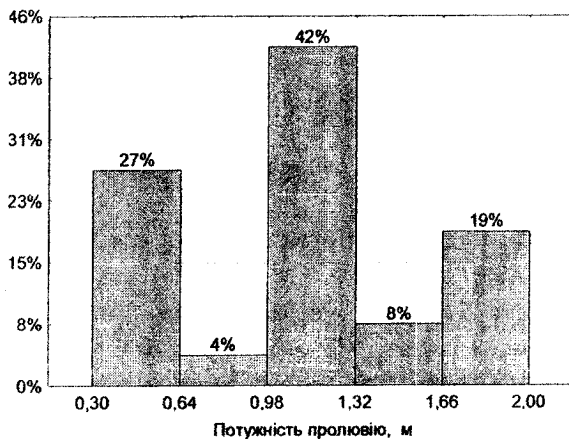


Рис. 2.58 Розподіл значень характеристики «потужність пролювію» (басейн рр. Чорна і Біла Тиса)

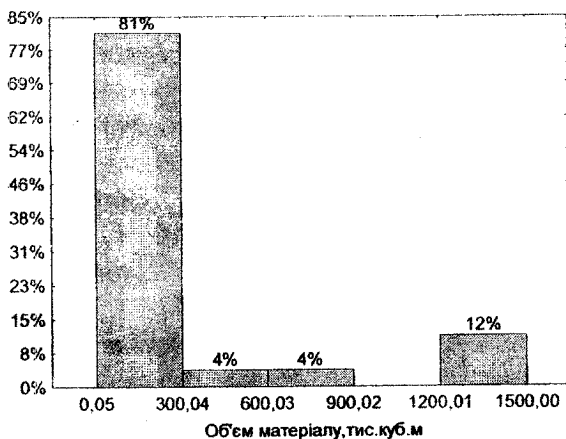


Рис. 2.59 Розподіл значень характеристики «об'єм матеріалу» (басейн рр. Чорна і Біла Тиса)

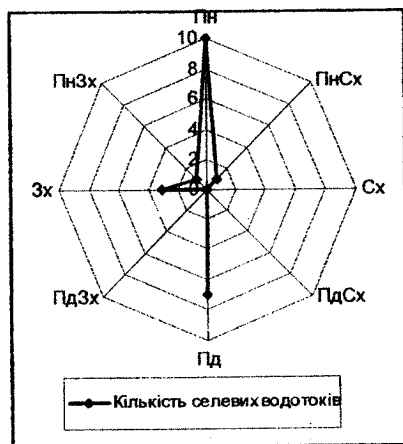


Рис. 2.60 Діаграма кількості селєвих водотоків у басейнах рр. Чорної та Білої Тиси на схилах відповідних експозицій

протягом року і треті - безперервним чергуванням паводків, однаково високих та інтенсивних як навесні, так і в інші пори року [14].

Величина стоку річок Закарпаття значною мірою залежить від гіпсометрії басейну, експозиції схилів і доступності їх вологоносним вітрам. Найбільшим зволоженням відзначається південно-західний схил Карпат (річки Шопурка, Мокрянка, Пилипець, Красна, Боржава, Іршава, Жденявка, Тур'я та ін.). Тут величини середніх річних модулів стоку складають 30-38 л/с з км², із мінімумами в окремі роки до 13 та максимумами до 56 л/с з км². Річки басейну Тиси нижче с. Ділове менш багатоводні. Їх середні річні модулі стоку коливаються в межах 21-25 л/с з км².

У багатоводні роки водні ресурси річок басейну Тиси (у межах України) у 1,5-2,5 рази більші, а в маловодні - в 2,0-2,5 рази менші, ніж у середні за водністю роки.

Коефіцієнт стоку для річок басейну Тиси складає близько 0,47 [15].

Річний режим стоку річок Закарпаття характеризується наявністю паводкового періоду (з березня по серпень), протягом якого в середньому проходить 55-70 % річного стоку. Цей період обіймає весняний (березень-травень) та літній (червень-серпень) сезони. Найменша частка річного стоку (10-15 %) припадає на зиму (грудень поточного року та січень-лютий наступного календарного року). За період відліку тут прийнято межень (вересень-лютий), а за сезон відліку - зиму. У межах Закарпатської області середній об'єм річного стоку з площі 12,8 тис. км² складає 8,0 км³ [15].

Цілком очевидно, що надлишкове зволоження в умовах Карпат є головною посередньою рушійною силою

розвитку зсувних і селевих процесів. Особливо показові в цьому відношенні сильні зливи, що охоплюють великі території. На гірських схилах при цьому формується значний поверхневий стік, у результаті якого з особливою силою проявляються зсуви та селі.

Особливо загрозливими дощові та сніго-дощові паводки бувають у періоди високої водності, зумовлені глобальною атмосферною циркуляцією [76]. Дослідження виявили наявність чергування періодів високої водності на річках Західного регіону України та циклічних складових у структурі багаторічних коливань річкового стоку Карпатського регіону. У ці періоди формуються небезпечні дощові паводки з виявом циклів у 3-4 і 6-8 років. Знання закономірностей повторюваності значних паводків дозволяють оцінити ймовірність виникнення небезпечних явищ на водних об'єктах [87].

З 1992-1993 рр. у басейні р. Тиса почався черговий період високої водності, який характеризується проходженням високих паводків на річках України та Центральної Європи. Кількість опадів у березні 2001 року в цілому була більшою, ніж опади, які сформували паводок у листопаді 1998 р. ($1,8 \text{ км}^3$ проти $1,1 \text{ км}^3$). На території Закарпаття кількість опадів за три дні березня 2001 р. була близькою до місячної норми - 50-100 мм. Перед випаданням дощу висота снігового покриву в цей час складала від 3 до 18 см, а в горах - 44 см. За таких умов паводок спричинив обвали та селі. Активізація небезпечних геологічних процесів у листопаді - грудні 1998 року і у весняний період 1999 року викликала понад 900 зсувів і 100 селів. Зсув у с. Вільховські Лази, об'ємом до 40 млн м^3 , зруйнував село. У 2001 році, за інформацією Закарпатської геологорозвідувальної експедиції, додатково

виявлено 539 активних зсувів загальною площею $6,4 \text{ км}^2$ і об'ємом $18,5 \text{ млн. м}^3$, 88 селевих потоків площею $0,5 \text{ км}^2$, об'ємом $0,6 \text{ млн м}^3$, 143 ділянки бічної ерозії загальної довжиною 26 км.

Комплексність та складність, залежність від ряду факторів визначають повторюваність (частоту) виникнення селевого потоку в одному і тому ж водозборі. Як правило, тут не спостерігається суворої циклічності, характерної для таких однозначних залежностей, як, наприклад, для рівнинних річок весняна повінь або для гірських річок літнє танення льодовиків і т.д. Селі виникають за сприятливих для їх формування поєднаннях гідрометеорологічних та геолого-геоморфологічних умов. В одних басейнах спостерігається майже щорічна повторюваність селів. В інших один сель від іншого відділяється роками і навіть десятиліттями. Як правило, чим більший часовий проміжок між селями, тим більш потужними вони є, оскільки за міжселевий період в осередках селевого живлення встигає накопичитися і прийти в стан нестійкої рівноваги значно більша кількість пухкоуламкового матеріалу, ніж за більш часті повторюваності селів. У басейнах і водозборах зливого та снігового живлення, де є великий запас пухкоуламкового матеріалу для живлення селів (морени, осипи, розсипи), селі повторюються відносно часто і пов'язані з періодами випадання значної кількості опадів. Чим крутіші схили басейну, тим частіше в таких басейнах виникають селі. У басейнах, де такого запасу немає, пухкоуламковий матеріал накопичується в періоди між селями: частота селів залежить від часу, необхідного для такого накопичення. У сильно розчленованих річкових басейнах із вельми крутими схилами і руслами селеві

явища відбуваються частіше, оскільки невеликого накопичення твердого матеріалу достатньо для приведення його в рух. У водозборах із більш пологими схилами необхідно значне накопичення пухкоуламкового матеріалу для приведення його в стан нестійкої рівноваги, отже, у таких басейнах селі формуються рідше [15]. Детальніше це питання буде розглянуте в розділі 6.

Розподіл селевих водотоків у просторі неодмінно залежить від відстані до базисів ерозії, так як селесходження залежать від форм рельєфу, які зумовлюють розвиток гідрологічної мережі. Це також пояснюється тим, що селі, які формуються в результаті інтенсивних опадів у більшості сходять по тимчасових водотоках і прямують під дією гравітації до долин рік (базисів ерозії). Гістограма розподілу значень факторної ознаки «відстань до базису ерозії» наведена на рис. 2.61.

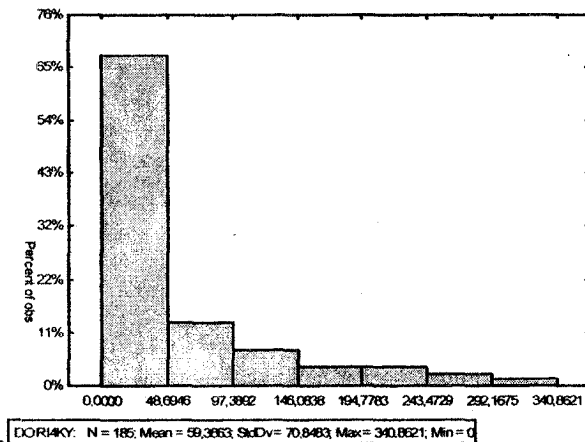


Рис. 2.61. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "відстань до базису ерозії"

Гідрогеологічні особливості. Визначаються, головним чином, тектонічними характеристиками території Карпатського регіону. У цілому, забезпеченість підземними водами невисока. Запаси підповерхневих і ґрунтових вод є незначними, що зумовлено малою потужністю ґрунтових профілів та кори вивітрювання корінних відкладів. Широкий розвиток флішових порід, представлених ритмічним шаруванням аргілітів, алевролітів і пісковиків, а також наявність у покрівлі суглинстого та глинистого делювію створюють несприятливі умови для живлення підземних вод, а також є причиною відсутності витриманих водоносних горизонтів. Глибоко врізані річкові долини та балки часто відкривають корінні породи, місцями повністю дренуючи їх [109].

У роботі [15] виділяють наступні водоносні горизонти та комплекси.

Водоносний горизонт нижньо-, середньо-, верхньочетвертинних і сучасних алювіальних відкладів поширений у межах долини Тиси та в низинах її правих приток: Боржави, Ріки, Терєблі й Апшиці. Він приурочений до досить потужної товщі галечників, гравію, валунів з домішками піщано-глинистого матеріалу; у верхній частині розрізу місцями трапляються суглинки, супіски, подекуди глини. Водовмісні породи в межах Чоп-Мукачевської западини підстилаються переважно піщано-глинистими відкладами ільницької світи, а в Солотвинській западині - м'якими сарматськими та верхньотортонськими відкладами.

Ґрунтові води в сучасних алювіальних відкладах приурочені до заплавно-руслених частин річкових долин. Водовмісними породами в гірській місцевості є гравійно-галечникові утворення, що заповнюють товщу валунів і

брил. У верхів'ях річок, де вони типово гірські, потужність алювію всього 1-3 м, іноді до 10 м. Місцями, де долини різко звужені і глибоко врізані в корінні породи, алювію зовсім немає. Потужність водовмісних порід 0,4-16 м (переважають 2-3 м). Глибина залягання рівня не перевищує 1-3 м. Водозбагаченість водоносного горизонту нерівномірна (вища в подовжніх долинах і нижча в поперечних). У долинах карпатських річок питомий дебіт свердловин у середньому складає 2-3 л/с. Витрати джерел з алювію становлять 0,01-0,1 л/с.

Живлення горизонту здійснюється шляхом інфільтрації атмосферних опадів, а також завдяки паводковим водам. Режим вод непостійний і характеризується весняним і зимовим максимумом.

Ґрунтові води в нижньо-, середньо- і верхньочетвертинних алювіальних відкладах приурочені до терас річки Тиси і залягають у потужній товщі відкладів (1,7-28 м), представлених галечником, пісками, суглинками, рідше глинами. Галечники залягають під делювіально-алювіальними й алювіальними суглинками. Місцями суглинки відсутні і галечник виходить на денну поверхню. Підстеляючими породами є відклади міоцену, палеогену і крейди. Глибина залягання вод горизонту від 3,8 до 9 м. Там, де у покрівлі залягають тяжкі суглинки, води мають слабкий напір. Водозбагаченість горизонту непостійна. Коефіцієнти фільтрації змінюються від 0,9 до 82,8 м/добу (переважають значення у 18-22 м/добу). Дебіт свердловин від 1,5 л/с, частіше за все переважають дебіти 8,1-9,6 л/с при зниженні 0,5-1,2 м. Витрати джерел коливаються від 0,001 до 0,3 л/с (переважають витрати 0,01-0,1 л/с) [15].

Живлення горизонту здійснюється шляхом інфільтрації атмосферних опадів і припливу вод із нижчезалягаючих водоносних горизонтів, а також завдяки повеневим водам. Режим вод непостійний і характеризується весняним і зимовим максимумом. Областю розвантаження водоносного горизонту служать долини річок.

Гірські гідрогеологічні комплекси в основному приурочені до верхньої частини флішових відкладень, яка розбита тріщинами вивітрювання до глибини 100-120 м. Найбільш інтенсивна зона тріщинуватості розташована в інтервалі 10-50 м. Більш інтенсивно і на більшу глибину тріщини розвинені в піщанистих породах флішової товщі, які відрізняються і більшою водозбагаченістю, ніж глинисті компоненти флішу.

Підземні води в нижньоменілітових відкладах мають місце в Карпатській складчастій області, у межах Кросненської і Скибової зон. Водозбагаченість менілітових відкладів зв'язана із зонами тріщинуватості, потужність яких становить від 30-50 до 400 м. Глибина залягання вод змінюється від 0 до 50 м. Води переважно напірні. Збагаченість водою цих відкладень незначна. Коефіцієнти фільтрації, визначені за даними відкачок із свердловин, змінюються від 0,15 до 0,58 м/добу [15]. Питомі дебіти свердловин складають 0,06-0,08 л/с. Витрати джерел коливаються від 0,001 до 0,4 л/с (іноді до 2 л/с).

Підземні води у палеоценових і еоценових відкладах мають місце у межах флішових Карпат. Водовмісними породами є пісковики і алевроліти що чергуються з безводними строкатокольоровими аргілітами, які у палеоцен-еоценовому флішу переважають. Води, що

циркулюють у приповерхневій частині, залягають на глибинах від 0 до 40 м. Води напірні і безнапірні [15].

Підземні води у верхньокрейдових відкладах мають місце в межах Скибової зони. Ці відклади складають ядра антиклінальних структур, часто ускладнених крупними тектонічними розломами. Представлені переважно флішем – аргілітами, алевролітами і пісковиками. Водозбагачені, в основному, у приповерхневій частині, де мають розвиток тріщини вивітрювання (до глибини 100 м). Глибина залягання горизонту від 0 до 56 м. Води напірні і безнапірні. Водозбагаченість стрийських відкладів перебуває у тісній залежності від літологічного складу водовмісних порід. Дебіт джерел у глинистих породах не перевищує 0,002-0,1 л/с, у пісковиках – 0,1-8,0 л/с (до 20 л/с). Найчастіше дебіт джерел не перевищує 1 л/с.

Підземні води у нижньо-верхньокрейдових відкладах поширені в межах Внутрішньої антиклінальної зони Карпат. Породи флішу тут зім'яті у вузькі складки з крутими крилами, часто ускладнені розривами. Водовмісні породи представлені алевролітами, аргілітами і пісковиками, рідше вапняками, конгломератами і гравелітами. Ці породи збагачені водою в приповерхневій частині (приблизно на 30-100 м, у зонах тектонічних порушень – до 600 м). Водоносний горизонт залягає на глибинах від 0 до 50 м. Виходи джерел зафіксовані на абсолютних відмітках від 800 до 1470 м (переважно 1000-1200 м). У зонах, розташованих ближче до денної поверхні, циркулюють головним чином безнапірні води, що підтверджується виходами низхідних джерел. З глибиною, води стають напірними. Витрати джерел змінюються від 0,01 до 2 л/с (частіше 0,2-0,3 л/с) [15].

Водоносний комплекс у нерозчленованих палеозойських і мезозойських відкладах має місце в південно-західній прикордонній частині Гірськокарпатського гідрогеологічного району, на Рахівському і Чивчинському кристалічних масивах. Водовмісні породи представлені головним чином вапняками юрського віку, а також пісковиками, конгломератами, аргілітами і вапняками тріасового і крейдового віків. У місцях розвитку тектонічної тріщинуватості, водоносними є сланці палеозойського віку. Водозбагаченість комплексу незначна. Води напірні, свердловини фонтанують. Дебіт свердловин складає від 0.2 л/с, при самовиливі до 2 л/с. Витрати джерел змінюються від 0.006 до 0.8 л/с (частіше 0.01-0.05 л/с) [15].

Роль гідрогеологічних умов у селевому процесі наступна: по-перше – фільтраційні властивості гірських порід і ґрунтів впливають на величину поверхневого стоку, по-друге – підземні води беруть участь у формуванні рідкої складової селевих потоків; по-третє – підземні води впливають на активізацію сучасних геологічних процесів, які підготовляють і формують тверду складову селів. Багаторічний хід мінливості рівня положення використовується в аналізі багаторічної селевої активності (рис. 2.62).

Роль гідрогеологічних умов у селевому процесі така: по-перше – фільтраційні властивості гірських порід і ґрунтів впливають на величину поверхневого стоку, по-друге – підземні води беруть участь у формуванні рідкої складової селевих потоків; по-третє – підземні води впливають на активізацію сучасних геологічних процесів, які підготовляють і формують тверду складову селів.

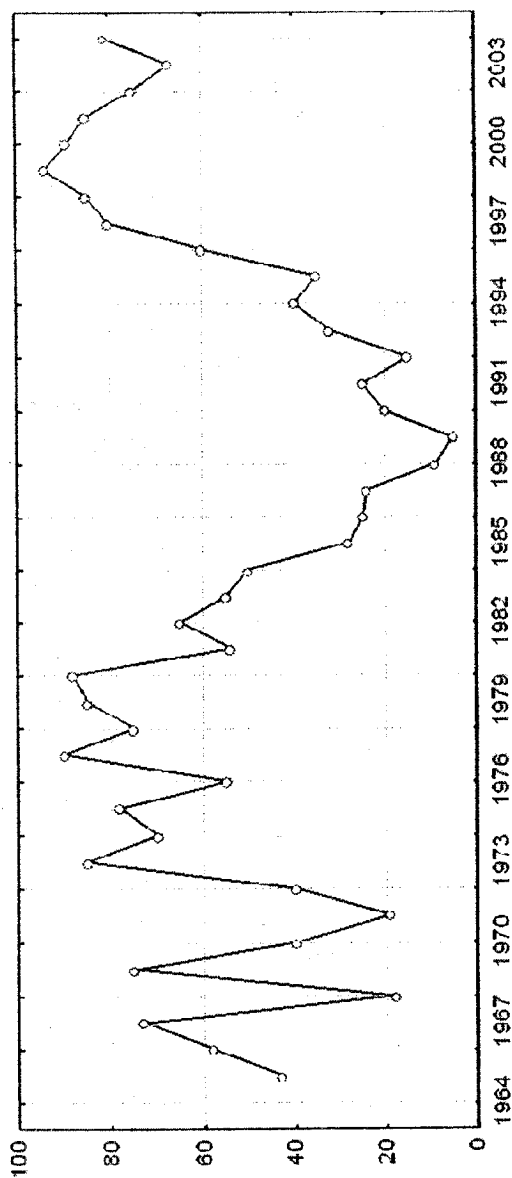


Рис. 2.62. Часовий ряд факторної ознаки "середньорічний рівень ґрунтових вод"
(зabezпеченість, %)

Вплив екзогенних геологічних процесів на розвиток селів. Карпатський регіон характеризується підвищеним розвитком ЕГП. У своєму розвитку вони тісно пов'язані один з одним і в певних сполученнях сприяють формуванню різних генетичних типів селевих осередків.

Взаємозв'язок у розвитку сучасних геологічних процесів та їх роль у формуванні генетичних типів селевих осередків наведений на рис. 2.63 [120].

Обвали поширені в гірських районах відносно рідко. Вони пристосовані до розчленованих масивів скельних порід, де крутизна схилів перевищує 45-50°. Відповідно до вертикальної морфологічної зональності та ярусності Карпат схили з такою крутизною розташовані в нижньому ярусі (400-700 м), найчастіше в прируслівій частині. Саме в прируслівій частині зустрічається більшість крутих схилів, де на денну поверхню виходять товстошарові пісковики, вапняки і кристалічні породи.

У процесах обвалоутворення беруть участь породи, розбиті густою мережею тектонічних та інших тріщин. Обсяги обвальних мас лише в одиничних випадках досягають 1000 м³. Виникнення обвалів звичайно пов'язують із метеорологічними факторами, у першу чергу зі зливовими дощами, однак не можна ігнорувати і сейсмічний фактор. Можливість обвалів, зсувів-обвалів на крутих схилах необхідно враховувати під час господарського освоєння територій.

Зсуви зосереджені переважно у вигляді смуг у межах різних структурно тектонічних зон, які значною мірою погіршують стійкість породного масиву складчастих Карпат, особливо на ділянках розвитку глинистого флішу та впливу тектонічних умов.

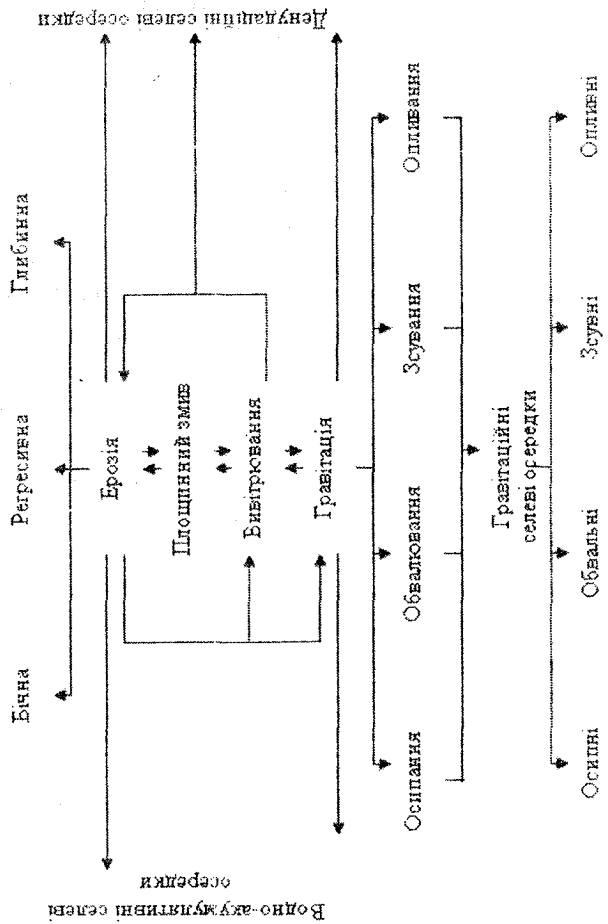


Рис. 2.63 Взаємозв'язок розвитку сучасних геологічних процесів та їх ролі у формуванні генетичних типів селєвих осередків

Ці ділянки, за результатами обстежень, відрізняються підвищеною активністю геодинамічного режиму, що додатково може знижувати стійкість схилів форм. Розміри зсувів досить різні і в основному залежать від крутизни схилів та глибини зсувних деформацій. Для пологих схилів характерні незначні потужності та досить великі за площею (потокоподібні) зсуви розмірами від 50 тис. до 1 млн м². Найбільші за об'ємом та глибиною зсуви спостерігаються в тектонічних та розломних зонах, які, крім того, можуть мати швидкоплинний характер.

У межах Закарпатського внутрішнього прогину зсуви пов'язані з корою вивітрювання вулканічних порід. У зв'язку з цим у межах вулканічних гряд формуються невеликі за об'ємами зсуви, що розвиваються в глинистих породах пліоценової кори вивітрювання елювіально-делювіальних і делювіальних відкладів, які мають потужність до 5 м.

Активізація давніх зсувів відбувається під час виконання будівельних робіт або за деякий час після їхнього завершення. Приводом для початку зсувів можуть служити як прямі впливи будівельних робіт, так і непрямі, але викликані господарською діяльністю й порушенням обстановки, що склалася [112, 48, 140].

Часто зсуви є активаторами селесходжень, вносячи в сіль пухкоуламковий матеріал. Закономірності в розподілі селів і зсувів можна візуально простежити за рис. 2.64, 2.65 в регіональному та локальному масштабах відповідно, з якого бачимо, що в басейнах потоків, у верхів'ях яких є зсуви, спостерігається сходження селів. Тому для прогнозування селів важливо знати закономірності поширення зсувів у даному регіоні. Це підтверджується гістограмою, наведеною на рис. 2.63.

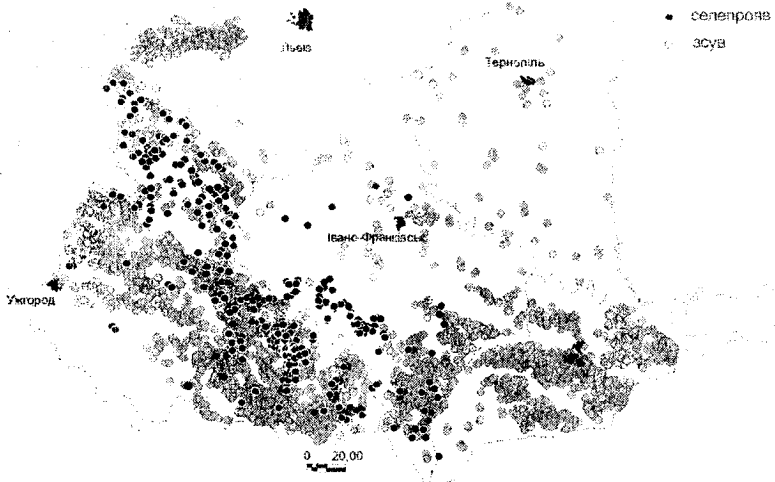


Рис. 2.64. Локалізація селепроявів і зсувів у Карпатському регіоні

Відстань до населеного пункту. Конкретну величину впливів населених пунктів на селеві процеси важко оцінити. Це може бути вплив комунально-промислового, водогосподарчого, транспортного, сільськогосподарського й лісопромислового комплексів, які більшою чи меншою мірою порушують природній стан навколишнього середовища.

Роль даного фактора помітно диференційована у просторі й часі та за характером впливу на розвиток селів. Детальний аналіз впливу цього фактора на стік води і наносів [28, 64, 77] дає підстави вважати, що найбільший вплив на селеутворення має лісокористування,

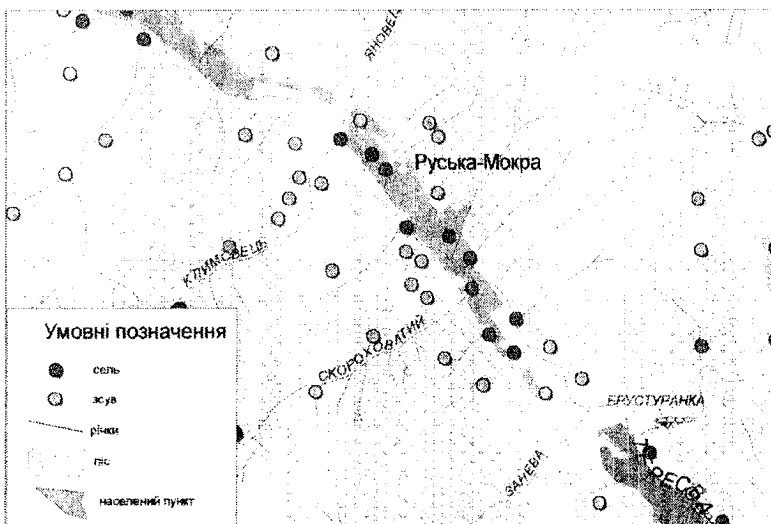


Рис. 2.65. Локальний розподіл осередків селесходження і зсувів у басейні р. Тересви

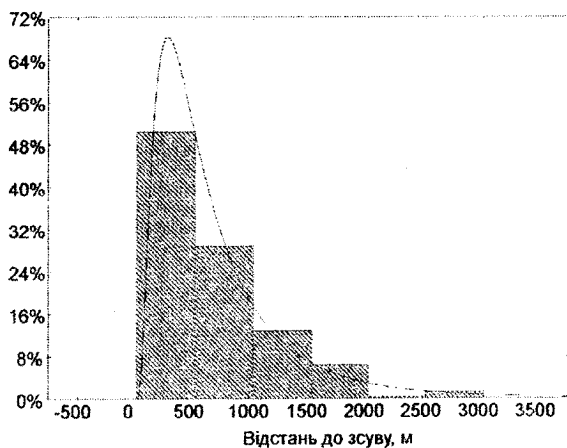


Рис. 2.66. Гістограма розподілу значень факторної ознаки "відстань до зсуву"

землекористування, забір алювію з русел річок, інженерно-технічний вплив на русла і заплави.

Складність питання також зумовлена тим, що результат аналізу просторового розподілу осередків селесходження може бути спотворений, оскільки більшість таких осередків зареєстровано саме біля населених пунктів. Гістограма розподілу значень ознаки «відстань до населеного пункту» наведена на рис. 2.64 (від'ємні значення вказують на сходження селю у межах населеного пункту).

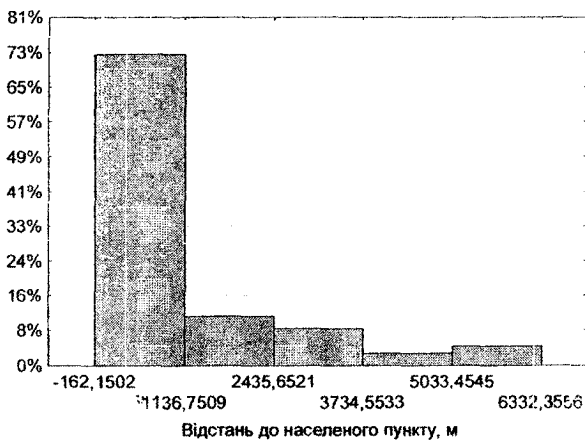


Рис. 2.67. Гістограма розподілу значень факторної ознаки «відстань до населеного пункту»

Розділ 3. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕНЕБЕЗПЕКИ

В основі запропонованої методології просторово-часового прогнозування селенебезпеки лежить алгоритм прогнозування екзогенних геологічних процесів, наведений в [70, 73]. Просторовий масштаб досліджень – регіональний, часовий – багаторічна активізація. Схема етапів просторово-часового прогнозування селенебезпеки наведена на рис. 3.1. В основі досліджень лежить використання картографо-статистичного методу. Статистичні розрахунки застосовуються до і після створення карт. При цьому власне карта слугує або джерелом даних, або засобом відображення результатів розрахунків. Така система включає в себе процес збору, систематизації і статистичної обробки кількісної інформації, яка отримується з вихідних фактичних карт селепроявів і факторних ознак, а також створення карт, які відображають розподілення вирахованих статистик і прогнозні карти селевої небезпеки.

Процес створення довгострокового просторово-часового прогнозу селенебезпеки передбачає виокремлення трьох основних етапів:

1. Розрахунок еталонного просторового комплексного показника.
2. Розрахунок часового комплексного показника.
3. Створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки.

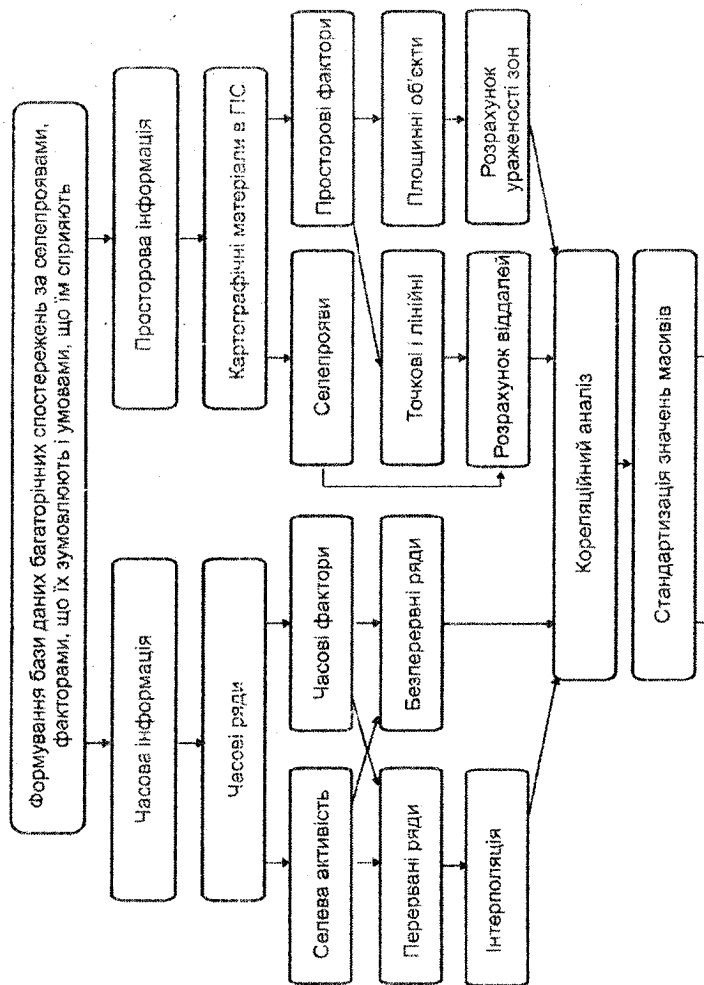


Рис. 3.1. Схеми етапів просторово-часового прогнозування селенебезпеки, аркуш 1

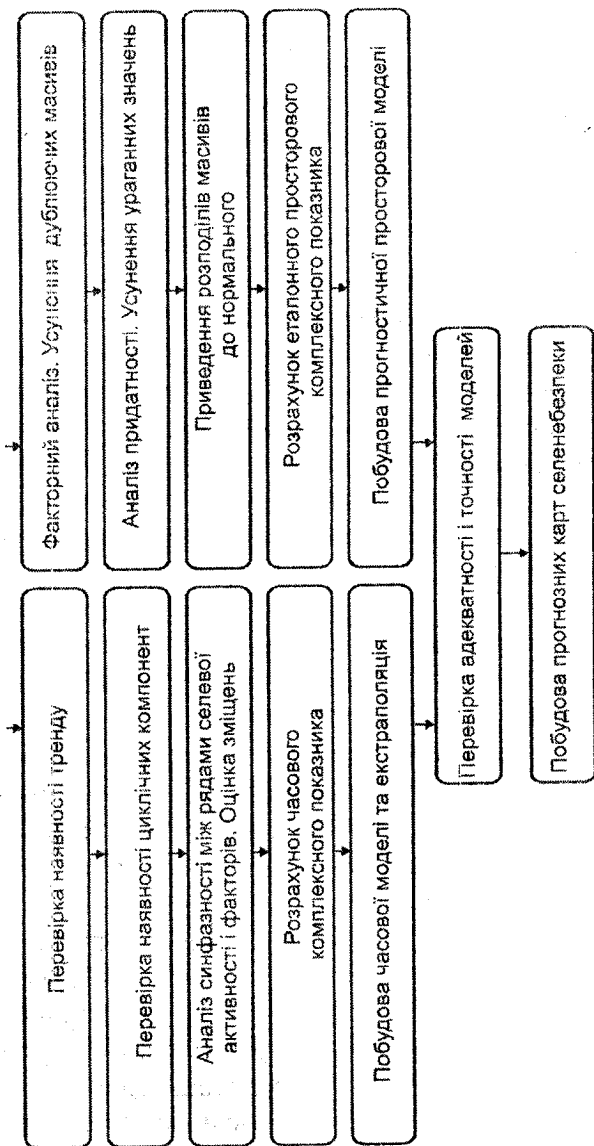


Рис. 3.1. Схеми етапів просторово-часового прогнозування селенебезпеки, аркуш 2

3.1. Розрахунок еталонного просторового комплексного показника.

Розрахунок еталонного просторового комплексного показника виконується за такими етапами.

1. Створення в ГІС - пакеті картографічної бази.

Картографічна база являє собою сукупність цифрових картографічних шарів (фактичних даних селесходження та факторів, які впливають на селеві процеси), представлених у цифровій формі з атрибутивною інформацією.

Використання картографічних шарів у середовищі ГІС дозволяє виконувати аналітичні операції з картографічними об'єктами та атрибутивною інформацією для одержання кількісних характеристик кожного фактора селеутворення.

На рівні шарів може здійснюватись пошук, завантаження та вивантаження даних у середовищі ГІС, до об'єктів шару можуть застосовуватись функції пошуку, форматування, зміни графічних об'єктів. Для використання в середовищі ГІС атрибутивна інформація підлягає систематизації, структуризації та формалізації, що дозволяє використовувати для подальшого її введення й обробки різні засоби автоматизованого пошуку, обчислень і візуалізації. [115].

Комплексний підхід при прогнозуванні селесходження вимагає залучення до аналізу всіх груп факторів, що впливають на селеві процеси на регіональному рівні. Такий відбір проводять теоретично – за наявності згадування в літературних джерелах зв'язку розвитку селевих процесів із певним фактором та з

використанням апріорної інформації про природу і фізику селевих явищ.

2. Проведення просторового аналізу.

Шляхом застосування картометричних оверлейних операцій з метою подальшого пошуку закономірного зв'язку між селевими процесами та факторними ознаками за допомогою вбудованих модулів ГІС-паketу розраховуються відстані до точкових і лінійних об'єктів, які представляють обрані фактори. Для простеження інтенсивності селеутворення за факторами, які у картографічному відображенні є окремими площинними об'єктами (зонами), розраховується їх ураженість селевими водотоками:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^k l_i}{\sum_{j=1}^n L_j}, \quad (3.1)$$

де U – ураженість зони (далі – факторна ознака зони); l_i – довжина i -го селевого водотоку; k – кількість селевих водотоків у межах даної зони; L_j – довжина j -го водотоку; n – кількість водотоків у межах даної зони. Обчислені характеристики факторів будемо називати факторними ознаками.

3. Емпіричне виявлення та доведення існування закономірного зв'язку між просторовим розподілом осередків селесходження та кожним із факторів.

Виявлення закономірного зв'язку між просторовим розподілом осередків селесходження виконується перевіркою відповідності розподілу факторних ознак теоретичним законам розподілу. Нормальний розподіл належить до числа найрозповсюдженіших у практиці

обробки геологічних даних, який широко застосовується в статистичних розрахунках і для апроксимації інших розподілів. До фундаментальних праць у цьому напрямі належать праці М. Н. Жукова [41, 42, 40], який перший в Україні обґрунтував і розвинув використання ймовірнісно-статистичних методів при обробці геологічної інформації.

Відповідність розподілу факторних ознак проводиться з використанням наведених нижче формул.

Значення факторних ознак мають нормальний розподіл, якщо щільність їх розподілу має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (3.2)$$

де μ – математичне сподівання, σ – середнє квадратичне відхилення величини x .

Логнормальному закону розподілу підпорядковані значення факторних ознак, логарифми яких розподілені нормально. Щільність логнормального розподілу має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)$$

Останнім часом, крім вищенаведених, використовують й інші розподіли, які містять експоненту, тому логарифми їх аналітичних виразів можуть бути розподілені за нормальним законом:

- гамма

$$f(x) = \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left(-\frac{x}{b}\right) \cdot \left(\frac{1}{b} \cdot \Gamma(c)\right), \quad (3.3)$$

де b – параметр масштабу, a – параметр форми;

- експоненціальний

$$f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot x), \quad (3.4)$$

де λ – параметр масштабу;

- екстремальний

$$f(x) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left(-\frac{x-a}{b}\right) \cdot \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right), \quad (3.5)$$

де b – параметр масштабу, a – параметр форми.

4. *Розрахунок інформативності кожного фактора.*

Оснований на кореляційному аналізі і використовується в припущенні лінійності зв'язку (тобто лінійності функції регресії):

$$\eta = a\xi + b + \theta, \quad (3.6)$$

(a і b – сталі).

Коефіцієнти інформативності визначають із метою підтвердження правильності вибору факторів та визначення вагового впливу на селевий процес кожного з них:

$$V_j = \frac{\sum_{j=1}^k |r_{ij}|}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k |r_{ij}|} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

де $r_{i,j}$ – значення коефіцієнта парної кореляції між i,j змінними в таблиці матриці коефіцієнтів кореляції.

Формула (3.7) запозичена з праць [73, 72], де її запропоновано використовувати при розрахунку інформативності факторних ознак при визначенні зсувонебезпеки.

Фактори, факторні ознаки яких мають коефіцієнт

інформативності близький до нуля, з розгляду виключаються.

5. *Розрахунок функції еталонного комплексного просторового показника.*

Першим етапом є виконання процедури логарифмування значень факторних ознак, розподіли яких не відповідають нормальному теоретичному закону.

Масиви значень факторних ознак нормуються за середньоквадратичним відхиленням з метою трансформації значень, виражених у фізичних величинах, у безрозмірні показники контрастності.

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad (3.8)$$

де z_{ij} - нормоване значення показника j -ї факторної ознаки для i -го селепрояву; x_{ij} - значення j -ї факторної ознаки для i -го селепрояву; \bar{x}_j - середньоарифметичне значення j -ї факторної ознаки для всіх селепроявів; σ_j - середньоквадратичне відхилення для j -ї факторної ознаки для всіх селепроявів.

Розрахунок еталонного просторового комплексного показника для кожного i -го селепрояву виконується за формулою

$$Q_i = \sum_{j=1}^k z_{ij} \cdot V_j, \quad (3.9)$$

де k - кількість факторних ознак, V_j - ваговий коефіцієнт інформативності. Методика розрахунку наведена в роботі [73]. Розподіл значень комплексного просторового показника повинен підпорядковуватись нормальному

закону розподілу.

У такому випадку функція розподілу еталонного просторового комплексного показника описує криву нормального закону розподілу (ф. 3.2):

$$f(Q_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.10)$$

де μ – математичне сподівання, σ – середнє квадратичне відхилення величини Q_i .

Для перерахунку всіх значень функції таким чином, щоб її максимальне значення рівнялося б одиниці домножуємо на $\max(f(Q_i))^{-1}$.

3.2. Розрахунок функції комплексного показника багаторічної селевої активності

Оскільки ступінь активності селів у конкретні роки обумовлена силою впливу факторів, що визначають цей процес [78], першим кроком при побудові часової моделі багаторічної селеактивності є вибір релевантних часових факторів, що сприяють багаторічній активізації селів у даному районі. Це фактори, вплив яких на селевий режим у регіональному масштабі є доказаний у багатьох працях [82, 74, 124, 159]. До них відносяться такі групи факторів: кліматичні, сейсмічні, гідрогеологічні та геліофізичні.

Ряди зазначених факторів аналізують у такій послідовності:

1. Пошук періодичності в рядах факторів з

застосуванням автокореляційної функції

$$R_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f(t-\tau)dt, \quad (3.11)$$

де функція $f(t)$ (часовий ряд відповідного факторної ознаки чи селевої активності) інтегрується у добутку з комплексно спряженою та зміщеною на певний час τ функцією $f(t)$.

Аналіз автокореляційної функції і корелограми дозволяє визначити лаг, за якого автокореляція найбільш висока, а, отже, і лаг, за якого зв'язок між поточним і попередніми рівнями ряду найбільш тісний. Якщо найбільш високий коефіцієнт автокореляції є коефіцієнтом першого порядку, то часовий ряд певної факторної ознаки містить тільки тенденцію. Якщо найбільш високий коефіцієнт автокореляції порядку t , тоді періодичність часового ряду факторної ознаки t . Якщо жоден із коефіцієнтів автокореляції не є значущим, можна зробити наступні висновки: або ряд не містить тенденції і циклічних коливань, або ряд містить сильну нелінійну тенденцію.

Залежно від структури сезонних коливань вибирається та чи інша модель. Адитивна модель будується, якщо амплітуда сезонних коливань є приблизно сталою. Мультиплікативна – при зростанні чи спаданні амплітуди сезонних коливань. Побудова адитивної чи мультиплікативної моделі зводиться до розрахунку значень трендової (T), сезонної (S) і випадкової (E) компонент для кожного рівня ряду.

Побудову моделі виконують за такими етапами:

1. Вирівнювання початкового ряду методом ковзної середньої.

2. Розрахунок значень сезонної компоненти S.
3. Виключення сезонної компоненти з початкових рівнів ряду.
4. Аналітичне вирівнювання рівнів (T+S) або (T·S) і розрахунок значень T з використанням одержаного рівняння тренду.
- 5 Розрахунок одержаних за моделлю значень (T+S) або (T·S).
- 6 Розрахунок абсолютних або відносних похибок.

2. *Аналіз періодограм, побудованих за результатами спектрального розкладу Фур'є, з метою підтвердження виявлених та знаходження прихованих періодичностей.*

Тригонометричний ряд Фур'є являє собою представлення випадкової функції f з періодом τ у вигляді ряду

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)), \quad (3.12)$$

де a_0 , a_n і b_n – коефіцієнти функції f , що вираховуються за формулами

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx, \quad (3.13)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx, \quad (3.14)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx, \quad (3.15)$$

3. *Проведення попарної кроскореляції між рядами селевої активності та факторами з метою виявлення їх існуючих зміщень у часі і приведення до максимальної синфазності.*

Коефіцієнт кореляції $r_{xy}(k)$ являє собою кореляцію між двома рядами: селевою активністю x і кожним з факторів y , де ряд x зміщений на лаг порядку k

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}(k)}{s_x s_y}, \text{ для } k = 0, \pm 1, \pm 2, \quad (3.16)$$

де $c_{xy}(k)$ – коефіцієнт кроскореляції на лазі k : s_x , s_y – стандартні відхилення рядів

4. *Розрахунок часового комплексного показника для прогнозного року.*

Масиви значень факторних ознак нормуються за середньоквадратичним відхиленням із метою трансформації значень, виражених у фізичних величинах, у безрозмірні показники контрастності за формулою (3.8), у якій значення набувають часового змісту:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad (3.17)$$

де z_{ij} – нормоване значення j -ї факторної ознаки в t -му році; x_{ij} – значення j -ї факторної ознаки в t -му році; \bar{x}_j – оцінка математичного очікування в вибірці j -ї факторної ознаки за всі роки спостережень; σ_j – середньоквадратичне відхилення для j -ї факторної ознаки за всі роки спостережень.

Розрахунок часового комплексного показника Ω для прогнозного року t виконується за формулою

$$\Omega_t = \sum_{j=1}^m z_{ij}, \quad (3.18)$$

де m – кількість часових факторних ознак. Сумація проводиться між зміщеними рядами. За допомогою

функції нормального розподілу надаємо функції $f(\Omega_t)$ вигляду де 0 – відсутня селева активність, 1 – максимальна селева активність. За функцією $f(\Omega_t)$ визначається $P(\Omega_t)$ – ймовірність селевої активності на рік t .

3.3. Методика створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки

Для побудови прогностичної геоінформаційної моделі потрібно виконати екстраполяцію отриманого в попередньому підрозділі комплексного часового показника.

Екстраполяцію рядів пропонується проводити трьома способами: сумациєю основних гармонік, виявлених у результаті аналізу Фур'є, нейронними мережами і шляхом осереднення ряду інтегрального показника з урахуванням основного періоду селевої активізації. Дані методи екстраполяції є сучасними і добре зарекомендували себе при вирішенні геологічних задач.

Далі всі значення отриманого екстрапольованого ряду ймовірності часової активізації перераховуються таким чином, щоб максимальне значення дорівнювало одиниці для виконання умови, що максимум функції відповідає умові здійснення ЕГП.

За ймовірну помилку отриманих прогнозів приймають довірчий інтервал, який визначають з урахуванням оцінки перевірочних прогнозів:

$$R = \frac{\overline{S}_v \cdot t}{\sqrt{n}}, \quad (3.19)$$

$$\overline{S}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}}, \quad (3.20)$$

де \overline{S}_y - середньоквадратична похибка перевірочних прогнозів; Y_i фактичні значення; X_i - прогнозні значення; n - кількість перевірочних прогнозів; t - таблична величина функції розподілу Стьюдента [109].

Для створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки для досліджуваної території будується регулярна мережа точок. Із застосуванням оверлейного аналізу знімаються значення факторних ознак у кожній точці сітки. Процедура розрахунку комплексного просторового показника проводиться за формулою (3.8). Далі розраховані значення порівнюються з еталонними і визначається ймовірність (селенебезпека) у i -й точці $P(Q_i)$. Приклад визначення селенебезпеки зображено графічно на рис. 3.2. При значенні комплексного просторового показника в i -й точці $Q_i = 1,38$ ймовірність $P(Q_i) = 0,6$.

Для розрахунку селенебезпеки пропонується використовувати формулу обчислення небезпеки розвитку екзогенних геологічних процесів $P(i, t)$ у просторі (точка i на поверхні Землі з координатами (x, y) та в часі (на рік t), запропоновану в [17]:

$$P_{i,t} = P(Q_i) \cdot P(\Omega_t), \quad (3.21)$$

де $P(Q_i)$ - значення ймовірності селенебезпеки у i -й точці; $P(\Omega_t)$ - значення ймовірності селевої активізації на час t .

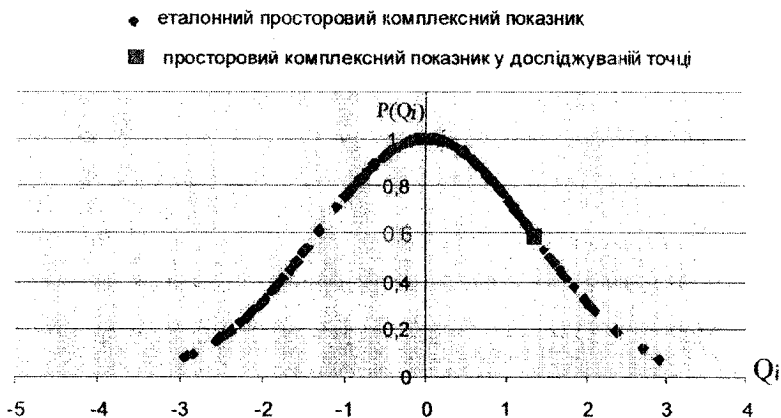


Рис. 3.2. Визначення селенебезпеки (у просторі) у досліджуваній точці за еталонним просторовим комплексним показником.

Далі виконується операція точкової дискретизації. Створюється регулярна сітка точок у кутах квадратів або трикутників. Кожній точці присвоюється значення, яке характеризує всю територіальну комірку, у межах якої вона залишилась. У результаті отримуємо точкову модель розподілення.

Операція точкової дискретизації використовувалась при створенні серії карт морфометричних характеристик, рельєфу земної поверхні – кутів нахилу і експозиції схилів. Для успішного використання таких карт необхідним є виявлення їх надійності за двома аспектами: формальна, основана на кількісній оцінці точності, та змістовна, яка передбачає оцінку географічної вірності. Високу якість карт можна забезпечити поєднанням формального і змістовного підходів. Перший ґрунтується на знанні методичних і технічних основ картографування. Другий -

на знанні природи селів, головних закономірностей їх розміщення на території, зв'язків та тенденції розвитку. На етапі підготовки до створення карт це допомагає правильно обрати спосіб інтерполяції.

При побудові карт рельєфу та карт селевої небезпеки постає питання вибору доцільного методу інтерполяції. Наш досвід свідчить, що для специфічних умов дослідження селів і пов'язаними з ними факторів немає універсального методу інтерполяції, який можна було б вважати оптимальним – для різних картографічних шарів найбільш придатними є вказані нижче методи.

Кригінг - геостатистичний метод інтерполяції, що використовує статистичні параметри для більш точної побудови поверхонь. Це метод знаходження найкращої оцінки середньозваженого значення просторової змінної, з вагами, що забезпечують мінімум дисперсії оцінки. За допомогою цього методу можна встановити структуру просторових даних і побудувати поверхню, використовуючи значення варіограм та відомих вимірювань в окремих точках. Відмінною особливістю є те, що базова точкова мережа може бути як регулярною так і нерегулярною. Оскільки при побудові рельєфу за основу беруть нерегулярну мережу точок, даний метод можна застосовувати.

Метод Шепарда - заснований на обчисленні вагових коефіцієнтів, за допомогою яких зважуються значення експериментальних Z -значень у точках спостережень при побудові інтерполяційної функції. У випадку, коли точка спостереження збігається з вузлом мережі, то ваговий коефіцієнт цієї точки вважають рівним одиниці, а всім іншим точкам спостереження присвоюються нульові ваги. Тобто, вузлу мережі

присвоюється значення відповідного спостереження, і, отже, даний метод працює як точний інтерполятор, що є позитивною характеристикою з погляду на вимогу до точності прогнозних карт селенебезпеки. Крім того, карти, побудовані за даним методом інтерполяції, релевантно відобрають осередки селесходження.

Триангуляція – метод інтерполяції за якого будується модель поверхні у вигляді мережі суміжних не пересічних трикутних граней, визначена по вузлах і ребрах, які покривають поверхню. Цей метод дозволяє отримати точне уявлення про локальну частину поверхні (ухили, експозицію схилів, селеві осередки); є основою 3D-візуалізації поверхні, що якісно покращує перегляд прогнозних карт; дозволяє виконати складний аналіз поверхні (обчислення висот, ухилів, експозицій схилів). Рекомендовано використовувати при побудові цифрової моделі рельєфу та прогнозних карт селенебезпеки.

Для перевірки якості прогностичної геоінформаційної моделі будують ретропрогнозу карту на рік минулої пікової селевої активності. Порівнюють спрогнозовану селенебезпеку з фактичними селепроявами.

Розділ 4. РОЗРАХУНОК ФУНКЦІЇ ЕТАЛОННОГО ПРОСТОРОВОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЙМОВІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ОСЕРЕДКІВ СЕЛЕСХОДЖЕННЯ ДЛЯ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТТЯ

4.1. Виявлення закономірностей просторового розподілу осередків селесходження

Для досліджень обрано ділянку на території Українських Карпат, що займає територію східної частини Закарпатської області площею 4 179 км² (рис. 4.1.). При проведенні просторового аналізу бралися до уваги селі дощового генезису. Такий вибір обумовлений тим, що цей вид селів трапляється на території Карпатського регіону найчастіше (у 99 % випадках) [120]. Для проведення аналізу використовувалися дані кадастру-каталогу селів ДП "Західукргеологія" [56], результати польових інженерно-геологічних і геоморфологічних спостережень на ділянках селесходження, фондові матеріали по даному регіону. За схемою районування селенебезпечних територій, територія обраного району належить до зони переважаючого розвитку "тепліх" водо- і грязе-кам'яних селів [142]. У якості базової ГІС для розроблення системи прогнозування селенебезпеки було обрано повнофункціональну геоінформаційну систему MapInfo. Система володіє великою кількістю різноманітних функцій і додаткових модулів, що дозволяють вирішувати складні ГІС-задачі.

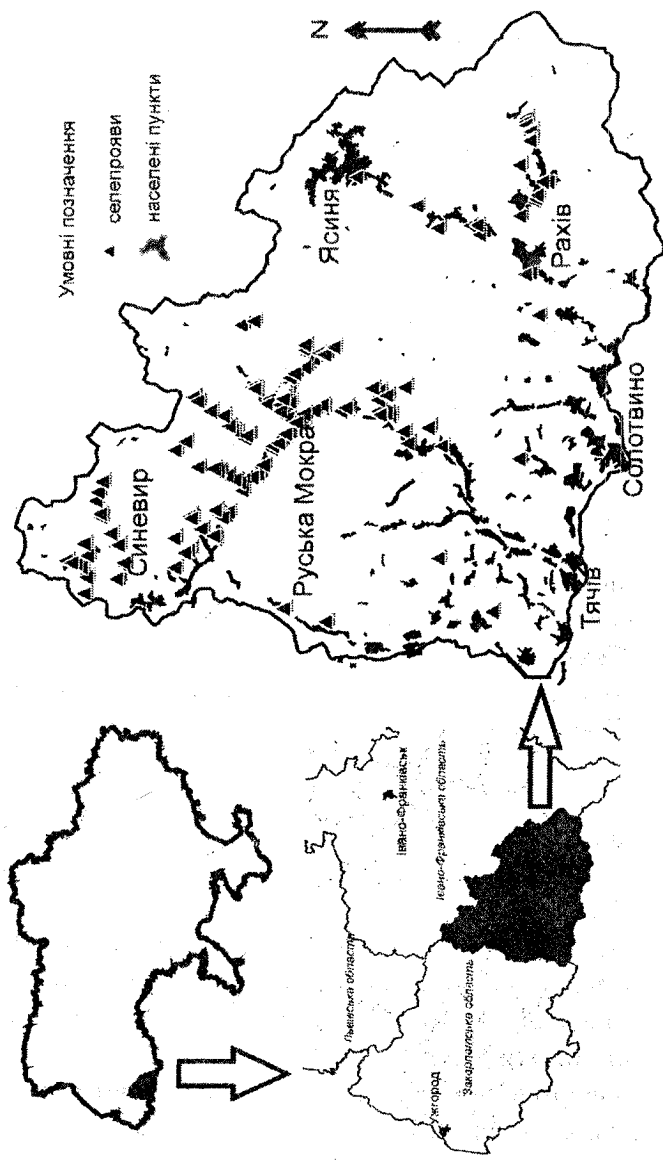


Рис. 4.1. Ділянка досліджень

ГІС MapInfo характеризується широкою можливістю експорту-імпорту графічних і атрибутивних даних, простою укладання тематичних карт та наявністю засобів географічного аналізу даних (просторові запити) [47]. Також обрана ГІС дає можливість виконання трьох основних видів аналізу: візуальний аналіз, аналітичні перетворення, вивід закономірностей [33].

Застосування ГІС MapInfo при прогнозуванні селенебезпеки дозволяє виконувати такі операції:

- обробка матеріалів польових вимірювань і спостережень, оформлення їх у вигляді карт та схем;
- створення точкових, лінійних, площинних об'єктів; тексту; буферних зон та інших просторових об'єктів;
- відображення окремих картографічних даних і різних комбінацій даних;
- пошук даних за їх положенням, атрибутами, розташуванням відносно заданного об'єкту чи групи об'єктів;
- комплексний аналіз та інтерпретація великих об'ємів даних;
- аналіз місцезнаходження об'єктів, топологічних відношень, наявності та щільності розподілу об'єктів;
- аналіз атрибутів об'єктів карт, класифікація даних;
- моделювання рельєфу, розвитку певних подій на місцевості;
- виконання різноманітних вимірювань і розрахунків, оверлейні операції, обробка растрових даних;
- поєднання формалізованих і експертних методів прийняття рішень;
- оформлення результатів аналізу даних у вигляді різних типів карт;
- контроль якості прогнозних побудов.

Для виконання досліджень за наведеною вище методологією просторово-часового прогнозування селенебезпеки перш за все потрібне представлення вихідних даних у формі, придатній для використання в ГІС. Створення картографічної бази даних передбачало підбір вже існуючих картографічних шарів можливих факторів селенебезпеки, а також побудову нових. Картографічна база даних створювалася з умовою залучення всіх основних груп факторів, які зумовлюють селенебезпечність території в регіональному масштабі (рис. 4.2). Наведені фактори обрані з наступних міркувань:

а) фізична обґрунтованість їх потенційного впливу на процес селеутворення;

б) відносна доступність отримання цифрової інформації з існуючого картографічного матеріалу з використанням сучасних ГІС.

За деякими параметрами (або факторами) картографічні дані не будуть повністю відповідати обставині утворення селю. Різномасштабні карти можуть дещо спотворювати умови розвитку селів, тому на цьому етапі важливим є постійний контроль рівня якості картографічного матеріалу та правильний вибір проєкцій.

Можливо, у кожному конкретному випадку існують свої локальні або основні базиси ерозії (не відмічені на карті), які по-різному впливають на механізм розвитку селю. Саме тіло або вогнище селю не є точковим на карті, що також призводить до деякої невизначеності щодо оцінки середнього значення кута нахилу денної поверхні.

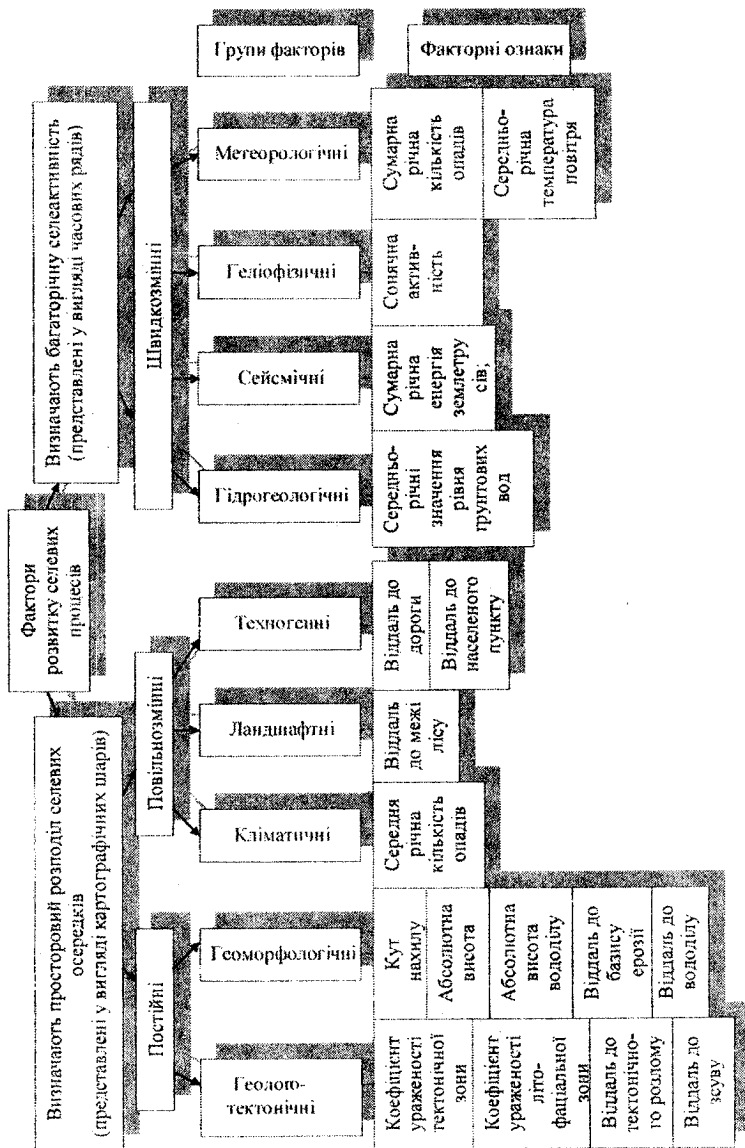


Рис. 4.2. Класифікація факторів розвитку селєвих процесів












Наведені міркування пояснюють певну невизначеність в оцінці селенебезпеки в конкретному випадку (точці на місцевості), але результати статистичного аналізу значних за об'ємом вибірок дозволяють виявити розподіл інформативності по факторах і кількісно оцінити їх вплив на процеси, що призводять до утворення селів, а за прогнози локалізації будемо брати відображення селепроявів у вигляді селевих осередків.

Надалі побудовано і реорганізовано картографічні шари з відповідною атрибутикою: ізолінії рельєфу (з кроком 20 м); гідрологічна мережа; дороги; покриття території лісом; населені пункти; літофаціальні зони; тектонічні зони; розподіл середньорічної кількості опадів; тектонічні розломи; зсуви; фактичний матеріал по селепроявам (карта селесходжень – усього 185 точок, зареєстрованих у державному кадастрі), таблиця (список) якого служитиме за основу для заповнення атрибутивних даних; селеві водотоки, вододіли. Дані, що використовувались для побудови картографічних шарів, – дані кадастру-каталогу селів ДП "Західукргеологія", кадастру [56]. З шару ізоліній рельєфу побудована растрові моделі: цифрова модель рельєфу ділянки, на основі якої створено шари експозиції схилів, ухилів. Картографічні шари для наочності наведені на рис. 4.3-4.12. Для кращої візуальності переважаючих кутів і експозицій схилу на рис 4.13, 4.14 наведені гістограми їх розподілу.

Кожний шар як інформаційний носій виконує дві функції:

- позиційну (дає інформацію про розташування об'єкта у просторі, про його розміри);

Умовні позначення

	Скибовий покрив
	Крошенська зона
	Порфудзький покрив
	Дукляський покрив
	Чорногірський покрив
	Зона Мармароських скель
	Рахівський покрив
	Мармароський масив
	Зона Пенінських скель
	Закарпатський прогин. Центральна зона
	Закарпатський прогин. Крайова зона

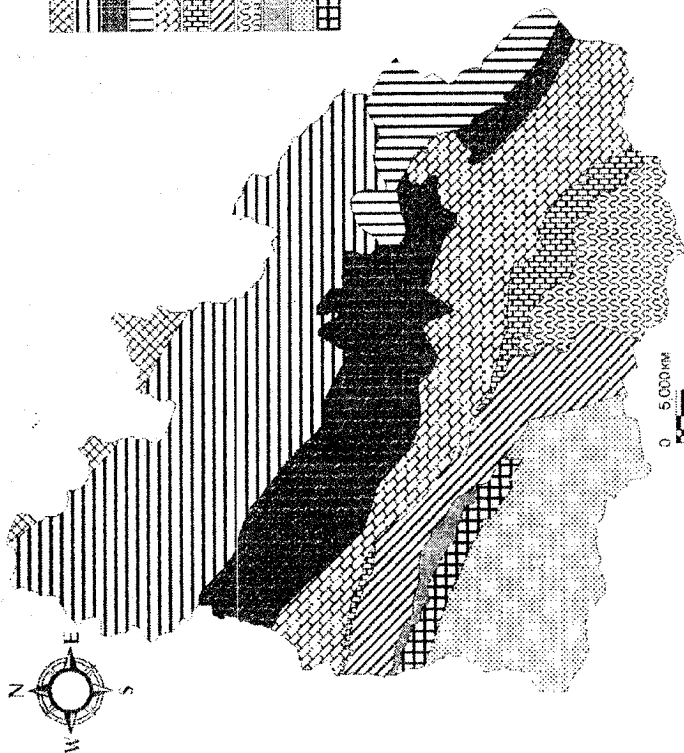


Рис. 4.3. Картографічний шар тектонічних зон

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

	Внутрішня теригена
	Страті фліші
	Конгломератова, прибережно-морська і алювіальна
	Піщано-глинистого флішу
	Піщано-глиниста морська та озерно-дельтова
	Олістоармсава і дикого флішу
	Кременисто-карбонатна
	Солончаки
	Флішідна
	Вулканогенно-осадова морська
	Глинистого флішу
	Зеленосланцева фация
	Теригенно-карбонатного флішу
	Амфіболітова фация
	Піщаного флішу
	Магм. утвор. (кислого складу FZ)
	Магм. утвор. (основного складу)

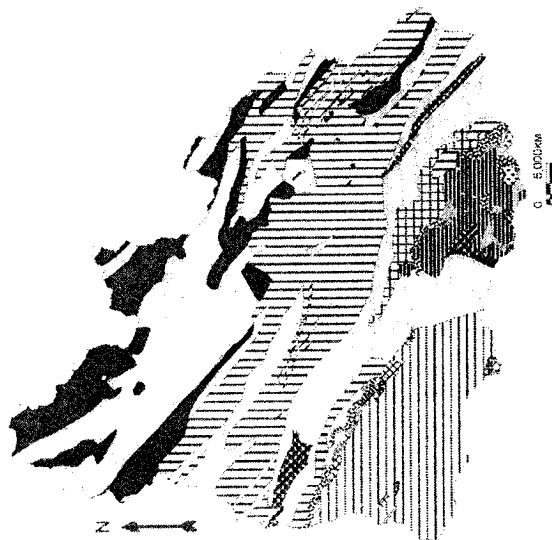


Рис. 4.4. Картографічний шар літофациальних зон

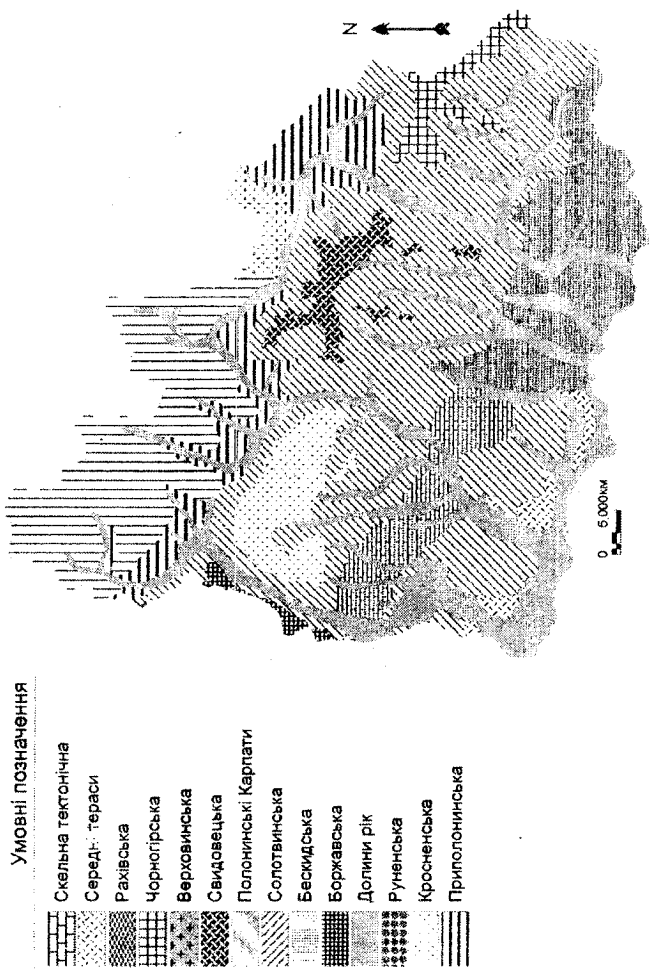


Рис. 4.5. Картографічний шар - геоморфологічна будова

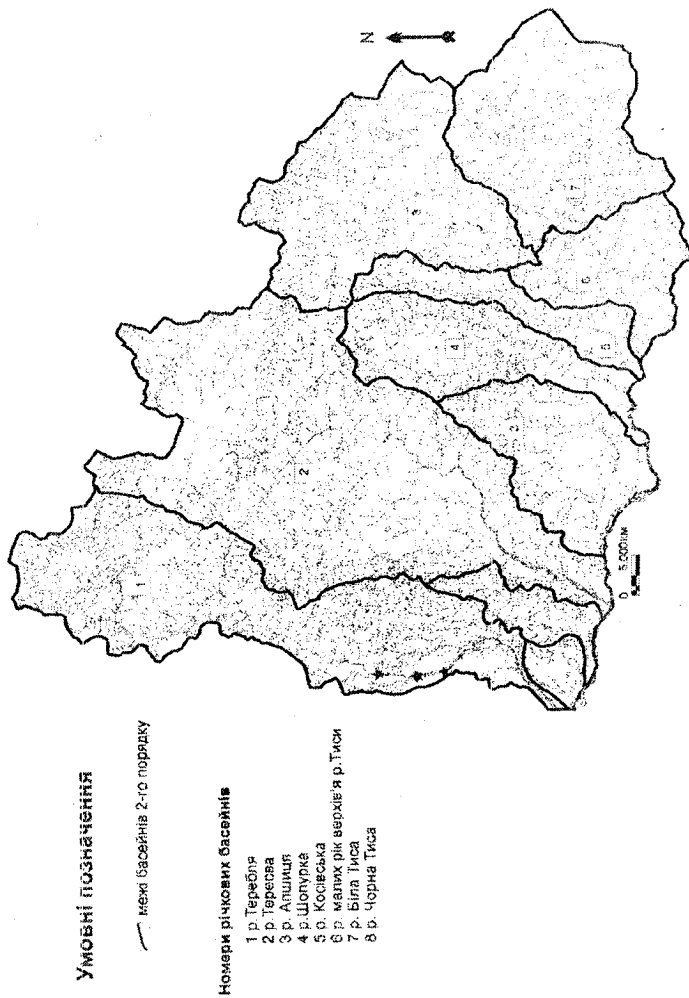
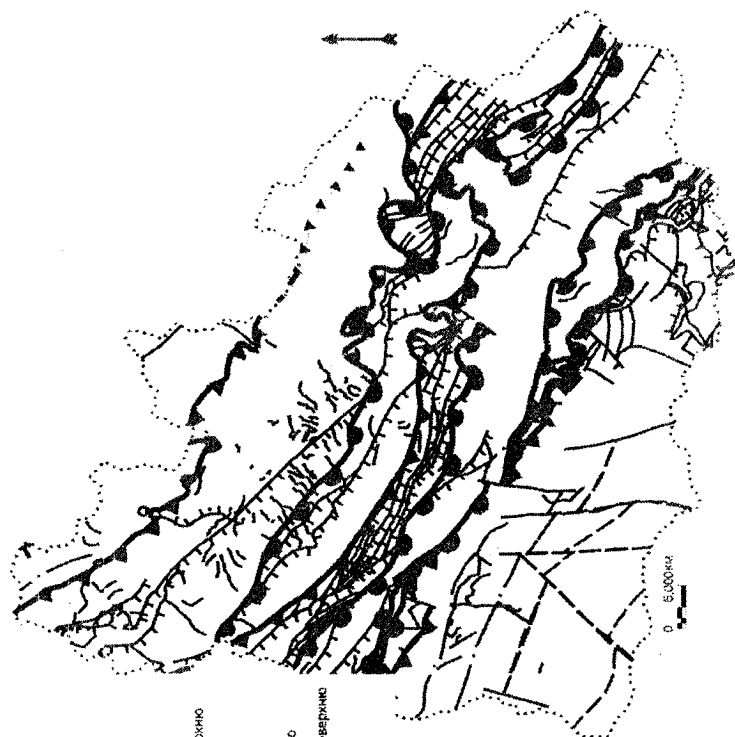


Рис. 4.6. Картографічні шари річкової мережі та басейнів



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ











- 
 Розломи, що виходять на поверхню
- 
 Розломи III пор., що виходять на поверхню
- 
 Розломи II порядку, під відкладками
- 
 Розломи, що вих на пов. (зімковані)
- 
 Тектоничні відривки
- 
 Крупні стибки, що виходять на поверхню
- 
 Розломи II порядку, що виходять на поверхню
- 
 Розломи I порядку, під відкладками
- 
 Розломи, що виходять на поверхню
- 
 селєві водотоки

Рис. 4.7. Картографічні шари тектонічних розломів і селєвих водотоків

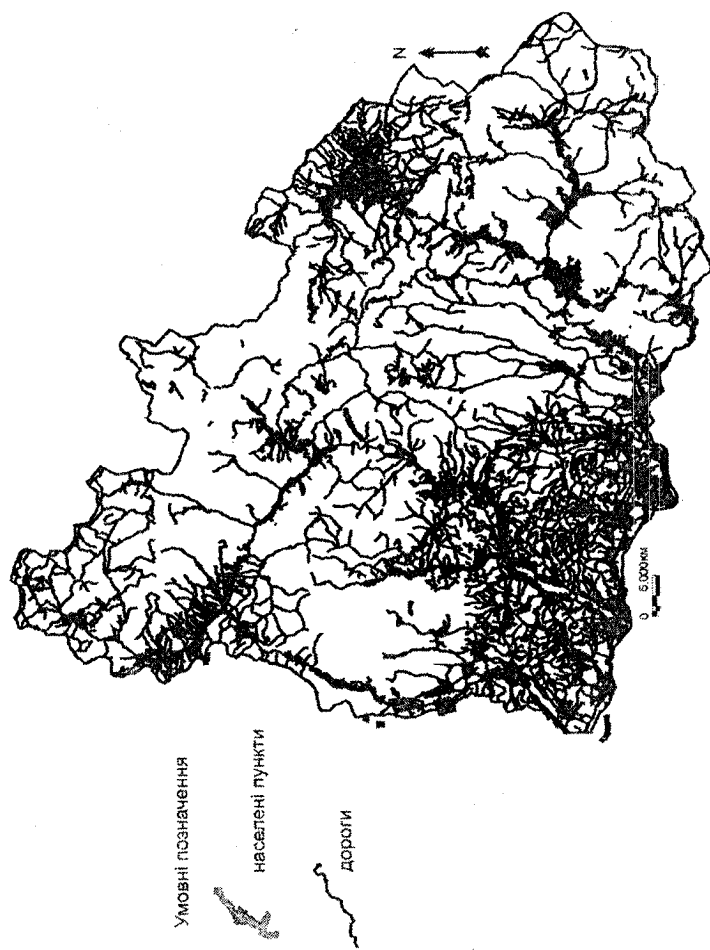


Рис. 4.8. Картографічні шари доріг і населених пунктів

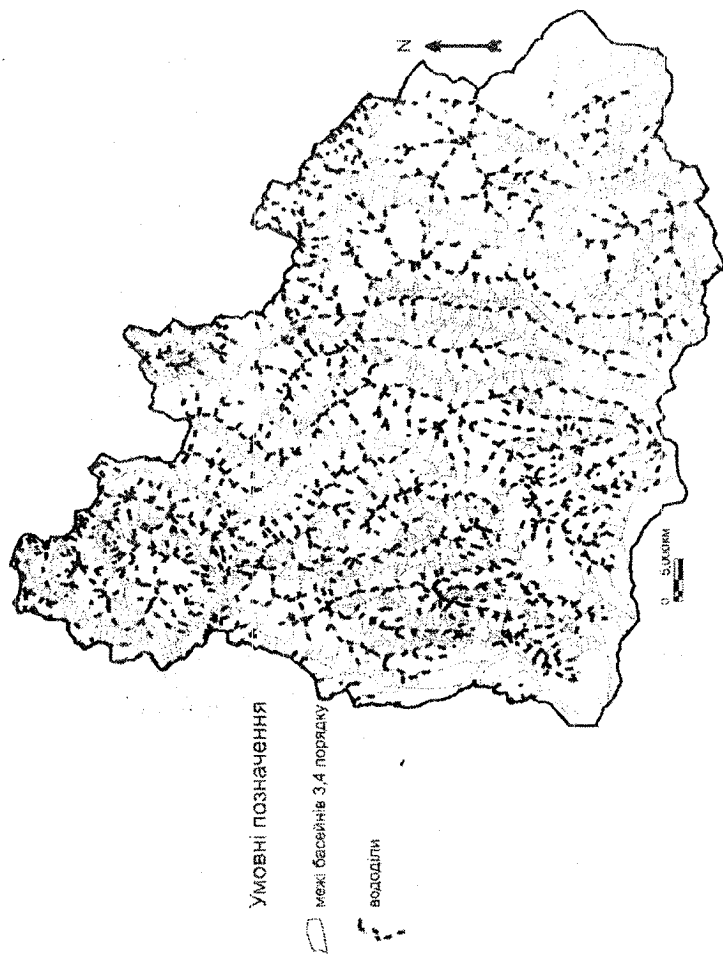


Рис. 4.9. Картографічні шари басейнів 3, 4 порядку і вододілів

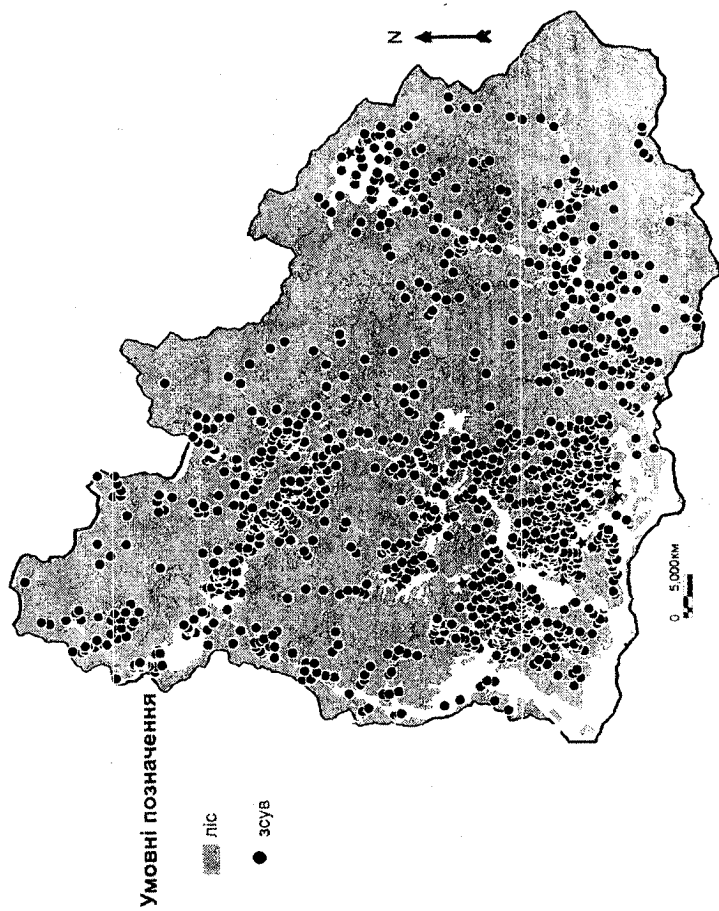


Рис. 4.10 Картографічні шари зсувів і лісів

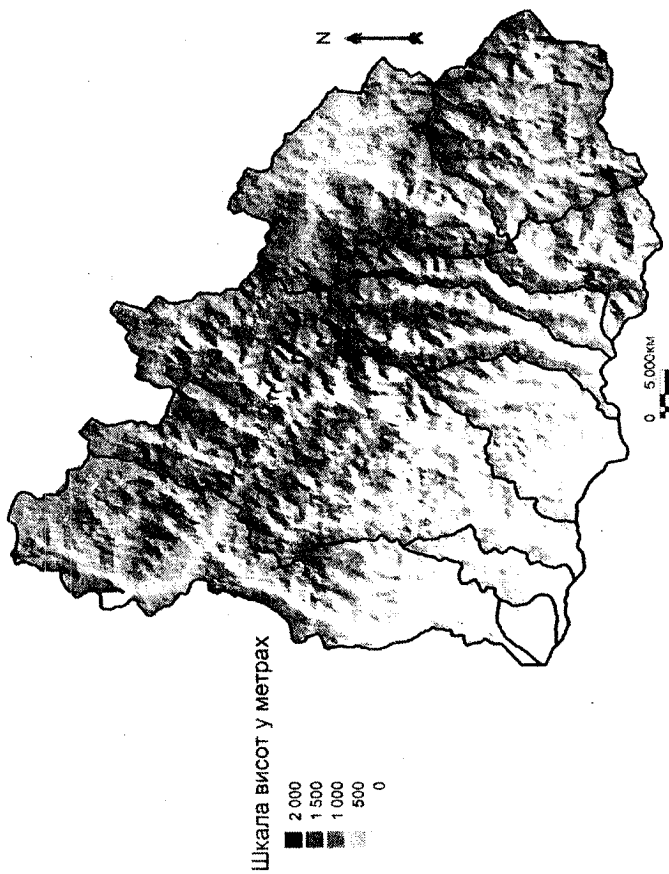


Рис. 4.11 Цифрова модель рельєфу

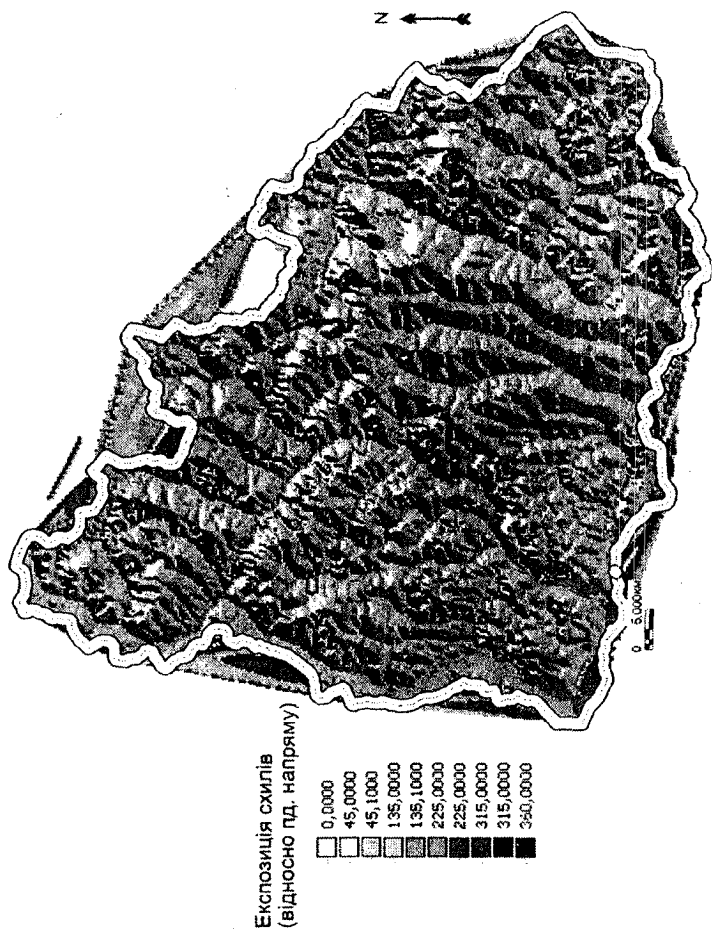


Рис. 4.12. Експозиція схилів

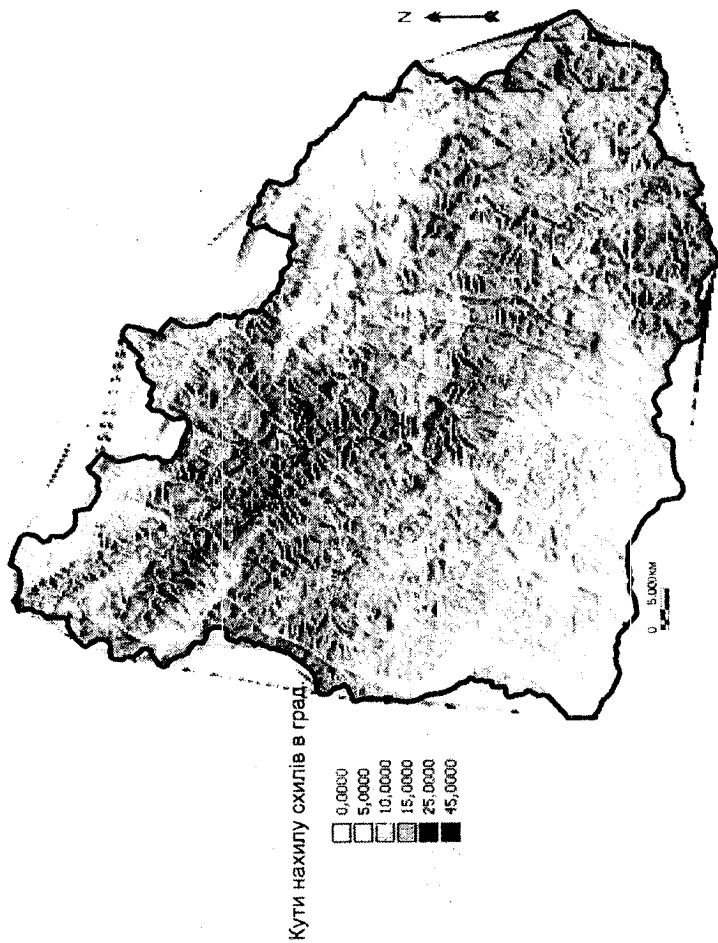


Рис. 4.13. Кути нахилу схилів

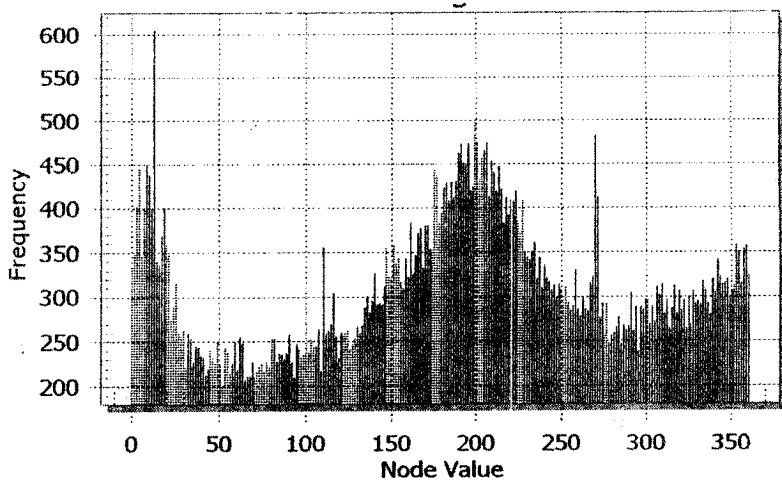


Рис. 4.14. Розподіл значень експозиції

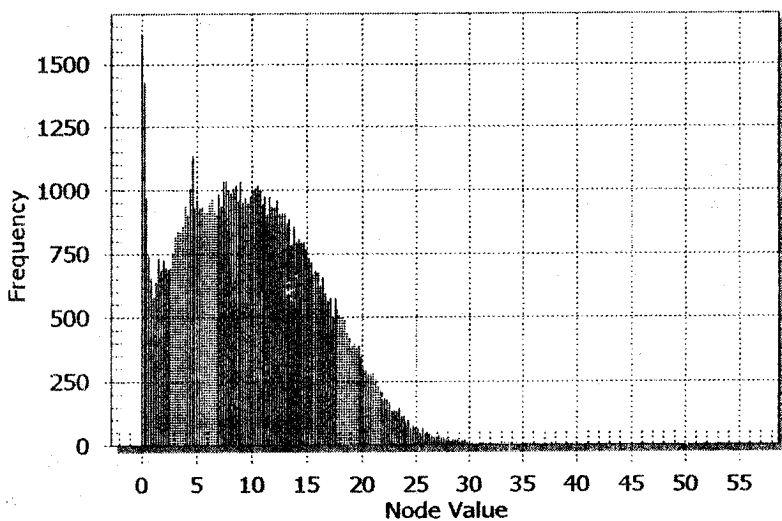


Рис. 4.15. Розподіл значень кутів нахилів

- атрибутивну (інформує про тип, вид, клас об'єкта і т.п.).

У кінцевому варіанті структура бази даних «Селепрояви» має вигляд, наведений у табл.4.1.

Статистичний аналіз та інтерпретацію виконано в програмі Statistica, яка зарекомендувала себе як така, що має зручний інтерфейс і високу точність у розрахунках та побудові графіки. Statistica дозволяє проводити вичерпний всебічний аналіз у вигляді таблиць і графіків.

Для простеження існування закономірностей поширення осередків селесходження залежно від факторів, які в картографічному відображенні являють собою точкові чи лінійні об'єкти, проведено просторовий аналіз із застосуванням картометричних оверлейних операцій.

За допомогою вбудованого модуля ГІС MapInfo Distance Calculator розраховано відстані від кожної з 185 точок селесходження до найближчих: річки, дороги, тектонічного розлому, вододілу, зсуву, межі лісу, населеного пункту. З картографічних шарів кутів нахилу зняті дані кута нахилу денної поверхні точки сходження селю, з цифрової моделі рельєфу – абсолютні відмітки точок сходження селю, абсолютні відмітки вододілу. Отримані результати занесено в базу даних по селепроявах. На рис. 4.16 наведена фрагмент бази в табличному вигляді.

Пошук закономірного зв'язку між просторовим поширенням осередків селесходження та кожним із факторів виконано перевіркою відповідності розподілу їх значень теоретичним законам розподілу із застосуванням критерію Колмогорова-Смірнова при рівні достовірності $p < 0.01$.

Таблиця 4.1. Структура бази даних «Селепрояви»

Ім'я у базі даних	Розшифрування
NOMER	Номер селепрояву в кадастрі
X	Координата X
Y	Координата Y
ABS_VISOTA	Абсолютна висота місця селепрояву, м
KUT_NAHYLU	Кут нахилу денної поверхні в місці селепрояву, град
DO_DOROGY	Віддаль від селепрояву до дороги, м
DO_BAZYSU	Віддаль від селепрояву до базису ерозії, м
DO_LISU	Віддаль від селепрояву до межі лісу (від'ємні значення - селепрояв у лісі, додатні - селепрояв поза лісом), м
DO_NASPUNKT	Віддаль від селепрояву до межі населеного пункту (від'ємні значення - селепрояв у населеному пункті, додатні - селепрояв поза населеним пунктом), м
DO_ZSUVU	Віддаль від селепрояву до зсуву, м
DO_ROZLOMU	Віддаль від селепрояву до тектонічного розлому, м
DO_VODODILU	Віддаль від селепрояву до вододілу, м
VYSOTA_VOD	Абсолютна висота вододілу, що відноситься до схилу з селепроявом
RI_LITOFAC	Ураженість латофціальних зон селепроявами
RI_TEKTONZ	Ураженість тектонічних зон селепроявами
OPADY	Кількість річних опадів (районування на основі багаторічних спостережень), мм
EKSPOZE	Експозиція схилу, град відносно напрямку на північ

Як бачимо з табл. 4.2, усі розподіли досліджуваних масивів значень підпорядковуються певним законам розподілу, і їх об'єднує наявність експоненти в аналітичному виразі. Це є доказом існування закономірного зв'язку між обраними факторами і поширенням селевих осередків.

Таблиця 4.2. Підпорядкування розподілів факторних ознак теоретичним законам розподілу

Факторні ознаки	D-критерій Колмогорова-Смірнова	Теоретичний закон розподілу
Абсолютна висота н.р.м, м	0,073	Нормальний
Кут нахилу денної поверхні, град	0,086	Експоненціальний
Відстань до дороги, м	0,088	Логнормальний
Відстань до базису ерозії, м	0,122	Експоненціальний
Відстань до лісу, м	0,212	Нормальний
Відстань до населеного пункту, м	0,239	Екстремальний
Відстань до найближчого зсуву, м	0,073	Логнормальний
Відстань до тектонічного розлому, м	0,091	Екстремальний
Відстань до вододілу, м	0,057	Нормальний
Абсолютна висота н.р.м. вододілу, м	0,066	Нормальний
Середньорічна кількість опадів (мм)	0,167	Нормальний

Для врахування закономірностей поширення селевих осередків від факторів, що у картографічному відображенні являють собою площинні об'єкти (тектонічні і літофаціальні зони), кількісно у інтегральному показнику, за формулою (3.1) розраховано ураженість зон селевими водотоками [149].

Для цього за допомогою аналітичного модуля ГІС обчислено окремо довжини усіх водотоків і селевих водотоків у межах територій певних тектонічних і літофаціальних зон. Отримані результати наведені в табл. 4.3, 4.4 та на рис. 4.17, 4.18.

Таблиця 4.3. Характеристики ураженості селевими водотоками тектонічних зон

Назва тектонічної зони	Загальна довжина водотоків, км	Довжина селевих водотоків, км	Ураженість зони, %
Закарпат. прогин. Центральна зона	873,9	8,902	1,019
Чорногірський покрив	332,2	4,032	1,214
Зона Пенінських скель	91,38	1,980	2,167
Поркулецький покрив	1342	35,5	2,645
Закарпат. прогин. Крайова зона	163,9	4,739	2,891
Рахівський покрив	280,6	8,277	2,95
Дуклянський покрив	1249	39,7	3,179
Кросненська зона	2178	161,7	7,424

Таблиця 4.4. Характеристики ураженості селевими водотоками літофациальних зон

Назва тектонічної зони	Загальна довжина водотоків км	Довжина селевих водотоків км	Ураженість зони, %
Кремінисто-карбонатна	126,40	0,55	0,43512
Олістостромові і диких флішів	174,20	0,76	0,43628
Піщано-глинисті морські та озерно-дельтові	955,40	11,19	1,17123
Строкаті фліші	48,15	0,63	1,30841
Піщані фліші	2139,0	51,21	2,39410
Теригено-карбонатні фліші	196,40	5,89	2,99898
Вулканогенно-осадкові морські	27,29	0,93	3,40784
Солені	38,89	1,61	4,13988
Глинисті фліші	1023,5	46,43	4,53617
Піщано-глинисті фліші	2589,0	145,80	5,63151

Для простеження відношення дисперсій значень факторів із метою перевірки їх структури та відбракування дублюючих, проведено факторний аналіз з обертанням осей методом варімакс (для досягнення максимальної кореляції дисперсій).

Факторний аналіз виявив позитивні значення навантажень факторів із фактором 1, що має найбільшу загальну дисперсію (0,24) (табл. 4.5).

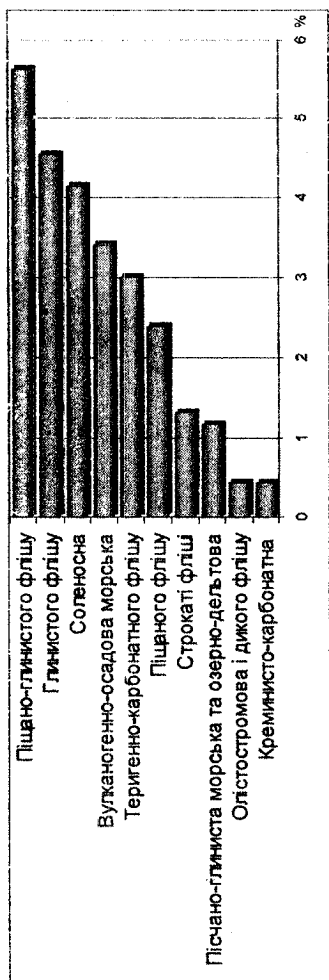


Рис. 4.17. Ураженість літофацій селєвими водотоками

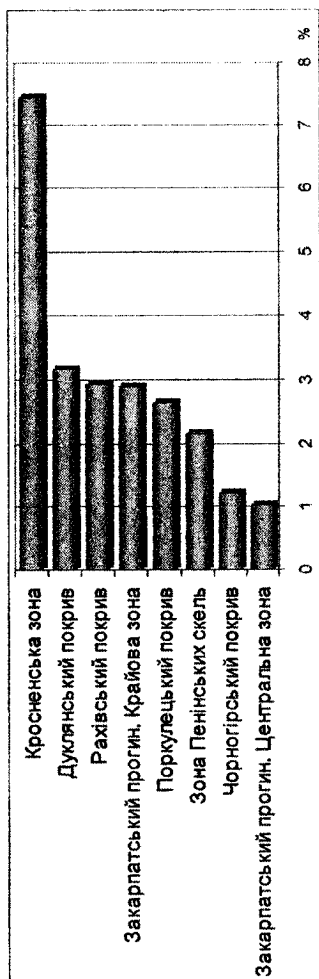


Рис. 4.18. Ураженість тектонічних зон селєвими водотоками

Таблиця 4.5. Матриця факторних навантажень

Факторні ознаки	Факторні навантаження. Кореляція з фактором 1
Абсолютна висота	0,794748
Кут нахилу	0,336553
Віддаль до дороги	0,564723
Віддаль до ріки	0,261123
Віддаль до лісу	0,653398
Віддаль до населеного пункту	0,707498
Віддаль до зсуву	0,167654
Віддаль до тект. розлому	0,021131
Віддаль до вододілу	0,012070
Абсолютна висота вододілу	0,427782
Середньорічна кількість опадів	0,577901
Ураженість тектонічної зони	0,011065
Ураженість латофациальної зони	0,093656
Загальна дисперсія	0,24

Це вказує на те, що масиви значень факторів відображають один процес (у даному випадку можна припустити, що загальний фактор – це умова селесходження). Крім того, виділено головні компоненти: «абсолютна висота» і «відстань до населеного пункту». Фактор «абсолютна висота» має визначальний вплив на значення інших факторів. Це пояснюється уявленнями про

закономірні зміни між геоморфологічними і кліматичними факторами та параметрами рельєфу. Так, наприклад, кількість опадів зростає з висотою, що підвищує ймовірність селесходження. Віднесення факторним аналізом фактора «відстань до населеного пункту» до головних компонент є штучним. Це пояснюється тим, що більшість точок селесходження, взятих до аналізу спостерігалась біля населених пунктів. Тому фактор «відстань до населеного пункту» вважатимемо недостовірним і таким, що не буде використовуватись у подальшому аналізі. Інші фактори мають набагато меншу загальну дисперсію за фактор 1 (>0.1) і тому не аналізуються.

4.2. Розрахунок функції еталонного просторового комплексного показника ймовірності розподілу осередків селесходження

Розраховані за формулою 3.7 значення коефіцієнтів інформативності кожного фактора наведено на діаграмі на рис. 4.19.

Як бачимо з діаграми, значення коефіцієнтів інформативності приблизно однакові, що вказує на їх відносну рівноцінність у підготовці прояву селів і потребу врахування кожного з них у розрахунку еталонного просторового комплексного показника.

Для приведення розподілів значень, відмінних від нормального, до максимально подібних до нормального теоретичного закону проведено процедуру логарифмування значень.

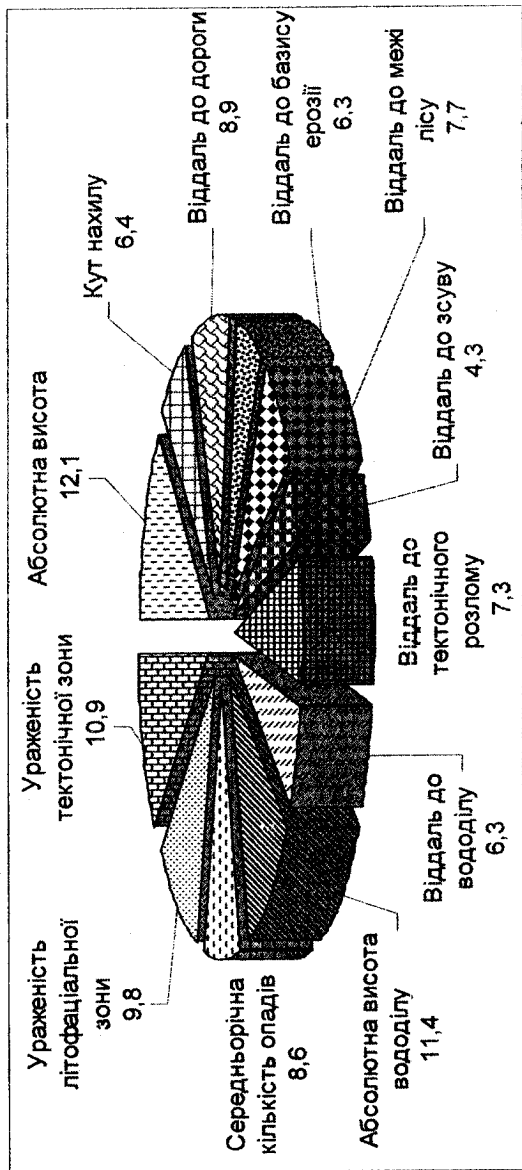


Рис. 4.19. Діаграма коефіцієнтів інформативності просторових факторних ознак

Тобто кожне значення масивів даних факторів: кут нахилу денної поверхні, відстань до дороги, відстань до базису ерозії, відстань до найближчого зсуву та відстань до тектонічного розлому піднесено до натурального логарифму.

Для проведення подальших статистичних операцій значення переведено в безрозмірні показники контрастності, тобто нормовано за формулою 3.8. Максимуми та мінімуми наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Максимуми та мінімуми масивів стандартизованих значень факторних ознак

Факторна ознака	Мінімум	Максимум
Абсолютна висота	-2,743	3,684
Кут нахилу	-1,179	3,072
Віддаль до дороги	-0,617	5,430
Віддаль до ріки	-0,838	3,973
Віддаль до лісу	-4,456	3,057
Віддаль до населеного пункті	-0,741	3,499
Віддаль до зсуву	-0,436	9,732
Віддаль до тект. Розлому	-1,435	3,424
Віддаль до вододілу	-1,940	2,883
Абсолютна висота вододілу	-2,738	2,647
Середньорічна кількість опадів	-2,484	1,970
Ураженість літо-фаціальної зони	-2,899	0,576
Ураженість тектонічної зони	-2,934	0,592

За формулою 3.10 розраховано комплексний просторовий показник. Гістограма розподілу комплексного просторового показника наведена на рис. 4.20. Як і слід було очікувати, розподіл підпорядковується нормальному

закону. Даний розподіл є еталонним.

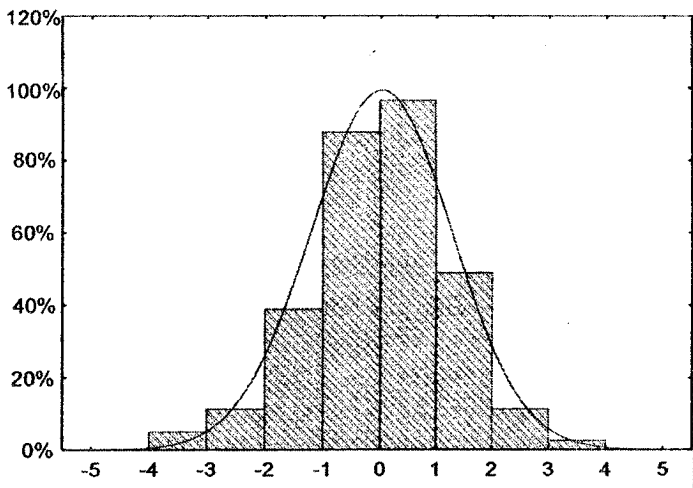


Рис. 4.20. Гістограма розподілу комплексного просторового показника

Розділ 5. РОЗРАХУНОК ФУНКЦІЇ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА БАГАТОРІЧНОЇ СЕЛЕАКТИВНОСТІ ДЛЯ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТТЯ

За сучасними уявленнями, георитми Землі мають певну тривалість, проявляючись у квазіциклічності екзогенних і ендегенних геологічних процесів, у гідрогеологічних параметрах та ін. Ці процеси розцінюються як результат впливу на літосферу періодично змінних космогенних і глобальних геофізичних факторів. Для вирішення задачі регіонального прогнозу селенебезпеки, крім просторового аналізу поширення селевих осередків, який був проведений у попередньому розділі, потрібно дослідити періодичність режиму часових факторів селенебезпеки для досліджуваної місцевості, які можуть мати свої особливості.

Для проведення аналізу використовувалися дані кадастру-каталогу селів ДП "Західукргеологія" [56], результати польових інженерно-геологічних і геоморфологічних спостережень на ділянках селесходження, фондові матеріали по даному регіону. Часові ряди містять дані з 1954 по 2008 рік.

Для аналізу обрані часові ряди певних груп факторів та відповідні факторні ознаки:

- метеорологічні – сумарна річна кількість опадів, середньорічна температура;
- гідрогеологічні – середньорічні значення рівня ґрунтових вод;
- сейсмічні – сумарна річна енергія землетрусів;
- геліофізичні – сонячна активність.

При аналізі використовувались часові ряди

метеофакторів по Рахівському метеопосту (1979-2008 рр.), нарощені на період 1972 – 1978 рр. за даними метеопосту в м. Хуст з урахуванням кореляції середніх значень по двох рядах. Значення рівня ґрунтових вод для Гірськокарпатського гідрологічного району наводяться у відсотках відносно середнього багаторічного положення і запозичені з роботи [109]. Сонячна активність виражена в числах Вольфа.

5.1. Виявлення закономірностей багаторічної селеактивності та факторів впливу на основі аналізу часових рядів

Фактичні вхідні дані у вигляді часових рядів селевої активності і факторних ознак, зазначених вище, наведено на рис. 5.1. Первинними процедурами їх обробки є інтерполяція неповних рядів селевої активності та нормалізація значень факторних ознак, а також селевої активності з метою трансформації величин у безрозмірні показники контрастності, з якими далі можна проводити математичні операції. Результуючі часові ряди наведені на рис. 5.2.

Як відомо, кожний рівень часового ряду містить три основні компоненти: тенденцію, сезонні (циклічні) коливання і випадкову компоненту. Часові ряди проаналізовано на наявність сезонних коливань, оскільки вони можуть привести або до завищених, або до занижених показників сили та тісноти зв'язку часових рядів.

Часові ряди проаналізовано на наявність тенденції, оскільки вона може вплинути на коефіцієнт кореляції за абсолютною величиною, який буде завищеним.

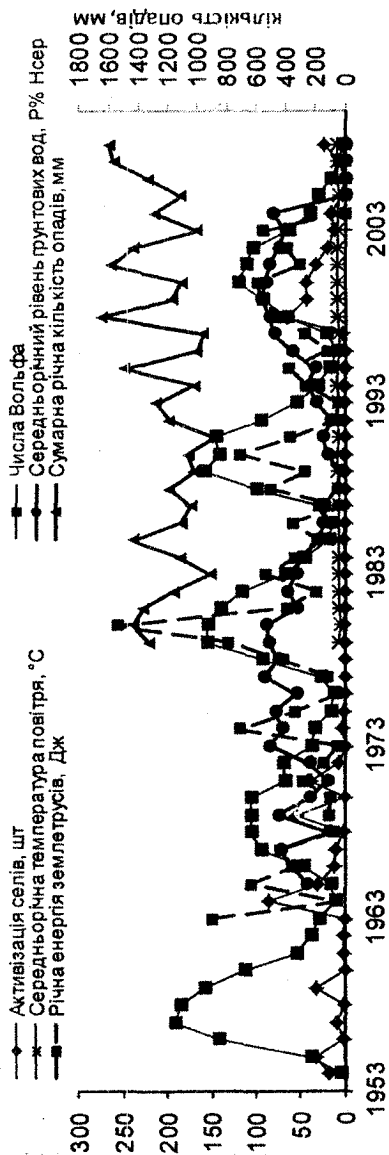


Рис. 5.1. Фактичні часові ряди

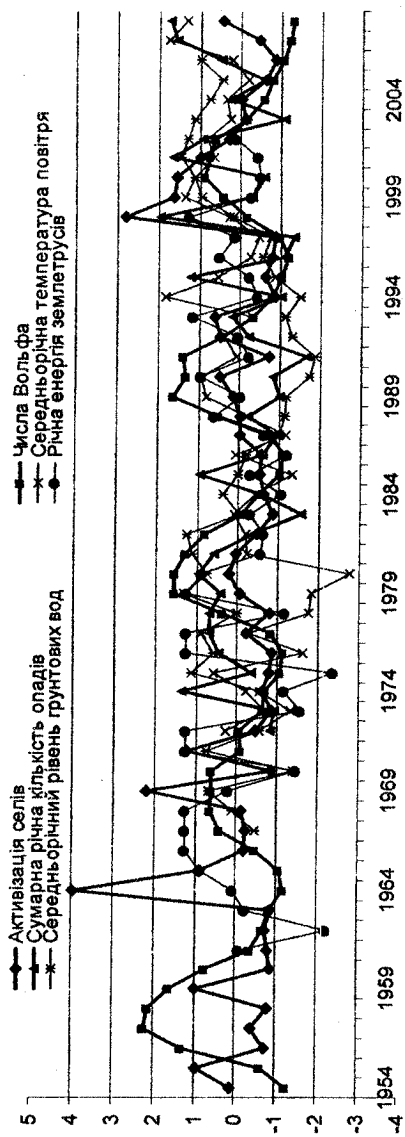


Рис. 5.2. Інтерпольовані і нормалізовані часові ряди

Наявність тенденції показує, що на залежну і незалежну змінні моделі впливає фактор часу, який безпосередньо в моделі не врахований. Вплив фактора часу виражається в кореляційній залежності між значеннями залишків за поточний і попередні моменти часу.

Після процедури нормалізації розраховано автокореляційні функції і побудовано автокорелограми за часовими рядами факторів та активності селів (рис. 5.3).

Низькі значення коефіцієнтів автокореляції першого, другого і третього порядків свідчать про те, що ряди не містять тенденцію.

Аналіз побудованих автокореляційних функцій дозволив визначити основні ритмічні складові в часових рядах табл. 5.1. Як виявилось, часові ряди всіх факторних ознак мають сезонну компоненту і характеризуються певною періодичністю.

Ряд річної активності селів характеризується в основному 10-річною періодичністю, також наявні менш виражені 5-ти та 21-річна періодичності.

Аналіз автокорелограми часового ряду сонячної активності, вираженої в числах Вольфа, указує на чітку 10-11 річну: періодичність, що є загальновідомим фактом (відомий як 11-річний сонячний цикл), також простежується 21-22-річна періодичності (так званий подвійний сонячний цикл). Значення періодів у спектрі чисел Вольфа добре узгоджуються з результатами досліджень інших авторів [88-26]. Щодо сумарної річної кількості опадів, то тут виявлений 3 і 7-річний періоди. 3-річну періодичність раніше виявлено в часових рядах річних стоків басейнів даного регіону М. Сусідком та О. Лук'янець [76, 129].

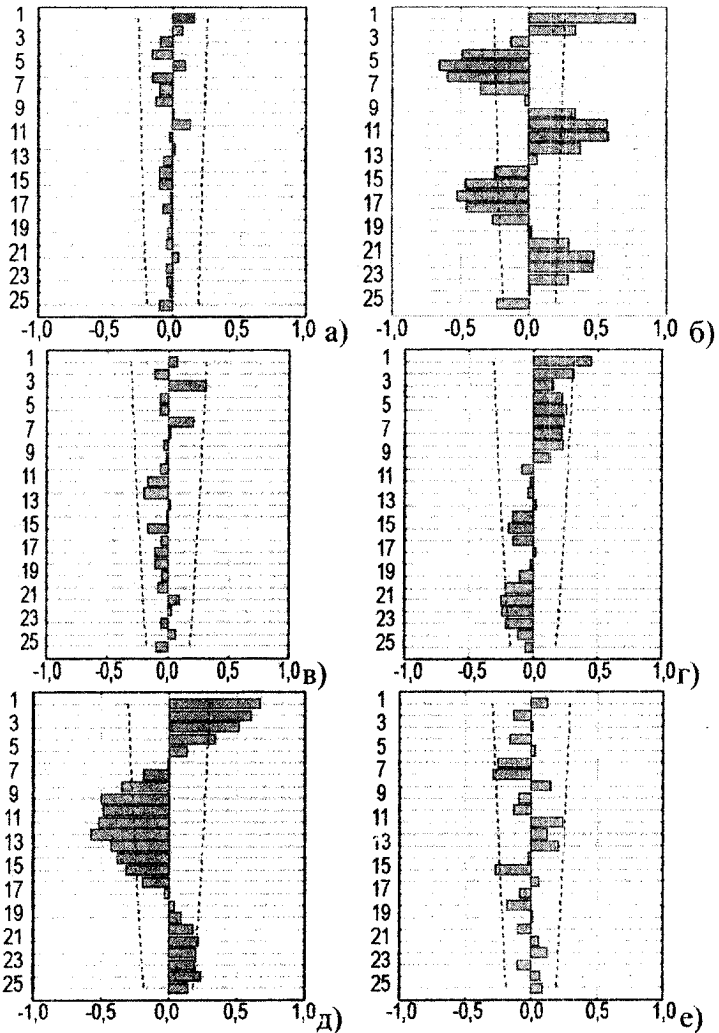


Рис. 5.3. Автокорелограми часових рядів: а) активізація селів; б) числа Вольфа; в) сумарна річна кількість опадів; г) середньорічна температура повітря; д) середньорічний рівень ґрунтових вод; е) сумарна річна енергія землетрусів

Таблиця 5.1. Основні періоди коливань значень часових рядів факторних ознак та селевої активності

№ пп	Часові ряди	Період коливань, роки
1	Сумарна річна активність селів	5, 10, 21
2	Числа Вольфа	10-11, 21-22
3	Сумарна річна кількість опадів	3, 5, 7
4	Середньорічна температура повітря	10
5	Середньорічний рівень ґрунтових вод	21-24
6	Сумарна річна енергія землетрусів	8, 11-13, 21-22

Результати аналізу автокорелограми, побудованої за значеннями середньорічної температури повітря, є досить суперечливими і однозначно сказати про якусь чітко виражену періодичність важко, хоча перелом на 10-му лазі вказує на можливий 10-річний період коливання. Періодичність часового ряду середньорічного рівня ґрунтових вод складає 21-24 роки. Найсуттєвішими періодами в часовому ряді сумарної річної енергії землетрусів є 8, 11-13, 21-22-річні періоди (наявність піків на 8 і 11 періоді виявляли раніше в інших роботах).

Для перевірки правильності виявлених періодів проведено спектральний аналіз Фур'є. Для кращої візуалізації за його результатами побудовано періодограми, які зображені на рис. 5.4. Періодограми часових рядів активності селів підтверджують виявлені раніше періодичності в 5 і 10 років, чисел Вольфа в 10-11 років, сумарної річної кількості опадів у 3, 5, 7 років,

середньорічного рівня ґрунтових вод у 21 рік, сумарної енергії землетрусів у 11-13 років. Чітко не виражена раніше періодичність у 10 років для часового ряду сумарної річної температури підтвердилася за побудованою періодограмою.

На наступному етапі досліджень розраховано функції взаємної кореляції з метою оцінки ступеня парної кореляції між часовими рядами активності селів і кожною із факторних ознак. На основі цього побудовано кроскорелограми (рис. 5.5). Їх аналіз вказує на потребу у відповідних зміщеннях рядів факторів відносно ряду активності селів, які наведені в таблиці 5.3. Про вагомість даного етапу свідчать таблиці коефіцієнтів кореляцій між рядами річної активності селів і досліджуваними факторами без зміщення – табл. 5.2 і зі зміщеннями – табл. 5.3. Як видно з табл. 5.3, корельованість рядів значно покращилася.

Таблиця 5.2. Кореляція часового ряду річної активності селів із рядами факторів без зміщень

Часові ряди	Кореляція з селевою активністю
Числа Вольфа	0,39
Сумарна річна кількість опадів	0,38
Середньорічна температура повітря	0,30
Середньорічний рівень ґрунтових вод	0,22
Сумарна річна енергія землетрусів	0,11

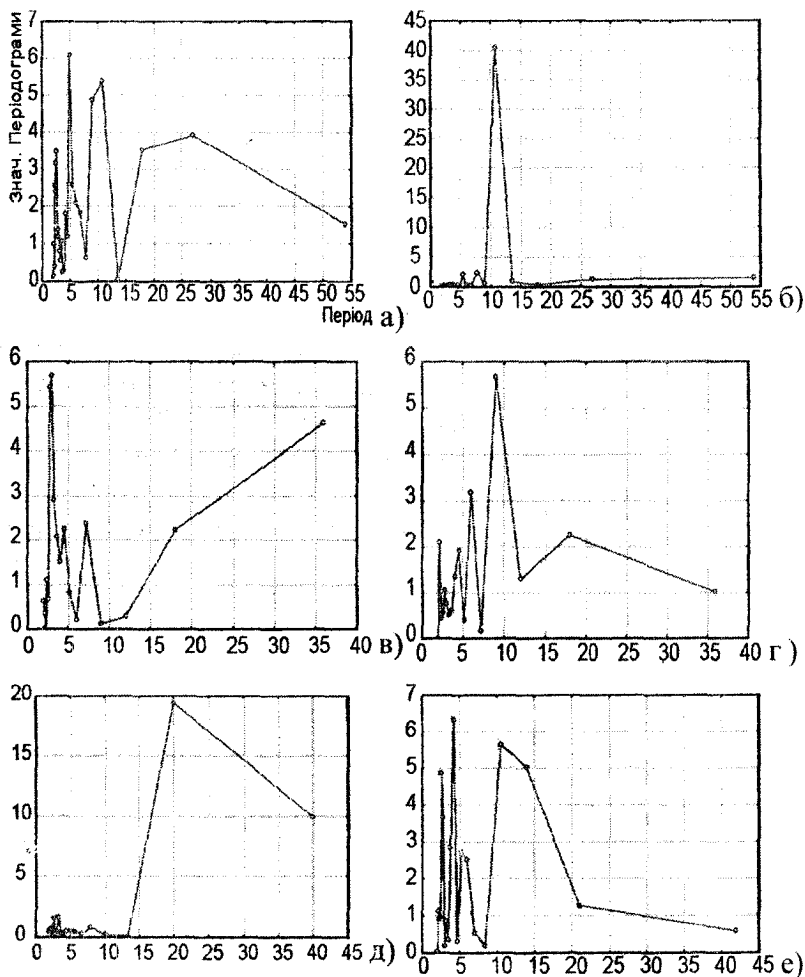


Рис. 5.4. Періодограми часових рядів: а) активність селів; б) числа Вольфа; в) сумарна річна кількість опадів; г) середньорічна температура повітря; д) середньорічний рівень ґрунтових вод; е) сумарна річна енергія землетрусів

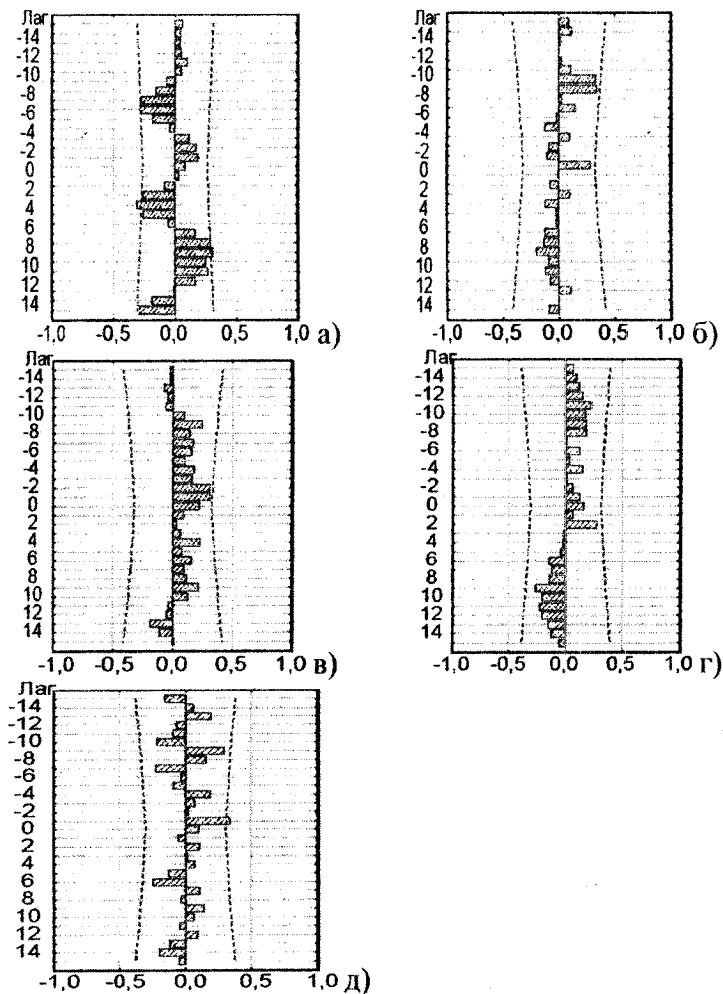


Рис. 5.5. Кроскорелограми часових рядів селевої активності і факторів а) числа Вольфа; б) сумарна річна кількість опадів; в) середньорічна температура повітря; г) середньорічний рівень ґрунтових вод д) сумарна річна енергія землетрусів

Таблиця 5.3. Кореляція часового ряду активності селів із рядами факторів зі зміщенням

Фактори	Зміщення, роки		Кореляція з сумарною річною активністю селів
	Назад	Уперед	
Числа Вольфа	1	-	0,44
Сумарна річна кількість опадів	-	-	0,39
Середньорічна температура повітря	1	-	0,50
Середньорічний рівень ґрунтових вод	-	2	0,25
Сумарна річна енергія землетрусів	1	-	0,33

5.2. Розрахунок функції комплексного показника багаторічної селеактивності

Наступним етапом є розрахунок комплексного (інтегрального) показника селевої активності. Комплексний показник розраховано двома способами – без урахування та з урахуванням ряду активності селів (рис. 5.6).

Як видно з рис. 5.6, функції комплексних показників схожі між собою та включають однакові ритміки. Парна кореляція між ними складає 95 %, що є високою мірою подібності. Для виявлення періодичності рядів інтегральних показників побудовано періодограми, одну з яких наведено на рис. 5.2 (для інтегрального показника з урахуванням ряду річної активності селів,

який використовуватиметься при прогнозуванні).

З рис. 5.2 видно, що встановлена раніше періодичність ряду активності селів у 10 років наявна і в ряді інтегрального показника. Отримані результати доводять можливість передбачення селевої активізації за відомими значеннями обраних факторів з урахуванням виявлених закономірностей.



Рис. 5.6. Графіки функцій часових комплексних показників із наведеними роками значної селевої активності

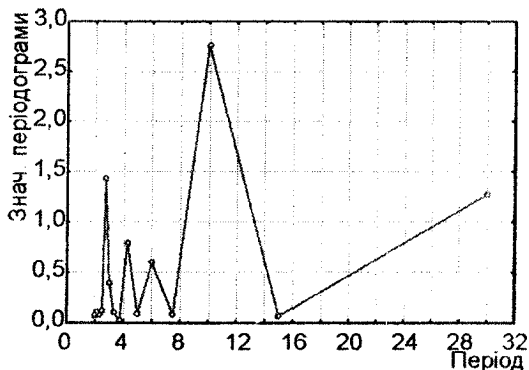


Рис. 5.2. Періодограма ряду часового комплексного показника

При цьому важливим є висновок про те, що при прогнозуванні не обов'язковим є знання часового ряду селів, тобто прогнозування можна здійснювати за незалежними та доступними для дослідження часовими факторними ознаками селепроявів.

Розділ 6. СТВОРЕННЯ ПРОГНОСТИЧНОЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СЕЛЕНЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЗАКАРПАТТЯ

6.1. Побудова прогнозної часової моделі багаторічної селевої активності

У двох попередніх розділах було визначено часові та просторові закономірності розвитку селевих процесів для досліджуваної території. Для встановлення року з наступним піком селевої активізації виконано екстраполяцію часового ряду комплексного показника.

Прогноз виконаний по 2012 рік, тобто приблизно на $\frac{1}{4}$ часу наявних рядів, що забезпечує необхідну точність прогнозування.

Розрахунок прогнозних рядів імовірності селевої активізації проводився на основі розрахованого комплексного показника з використанням функції Лапласа. Екстраполяція рядів проводилась трьома способами: сумациєю основних гармонік, отриманих при Фур'є-аналізі ряду комплексного показника, нейронними мережами та шляхом осереднення ряду комплексного показника з урахуванням основного періоду селевої активізації.

Прогнозування першим способом являє собою виділення основних складових ряду комплексного показника за найбільшим енергетичним внеском у загальну суму.

Аналіз періодограми, зображеної на рис. 5.2 і

проведений аналіз Фур'є дозволяють виділити такі основні періоди: 10, 5 і 3 роки. Характеристики розкладу часового ряду комплексного показника за Фур'є і виділені гармоніки наведені в табл. 6.1. На рис. 6.1. наведений графік гармонік часового ряду комплексного показника. Зазначені гармоніки забезпечують близько 65 % енергетичного вкладу спектрів. Це має фізичне пояснення, так як вони присутні в рядах факторів і активності селів (табл. 5.1). Прогностичний ряд, що побудований за значеннями, отриманими шляхом сумачії виділених гармонік. (рис. 6.2.), дозволяє стверджувати про сплеск активізації в 2015 році та наступну значну активізацію селів у 2018-2020 роках.

Таблиця 6.1. Характеристики розкладу часового ряду комплексного показника за Фур'є

	Частота	Період	Косинус ефект	Синус ефект	Періодограма	Щільність	Хам-мінг
0	0,00	0,00	0,06	0,00	0,05	3,81	0,04
1	0,04	24,00	0,69	-0,20	6,24	5,73	0,24
2	0,08	10,00	0,82	-0,49	10,92	6,93	0,45
3	0,13	8,00	-0,36	0,22	2,09	4,28	0,24
4	0,17	6,00	-0,24	0,21	1,24	2,76	0,04
5	0,21	4,80	0,32	0,59	5,38	2,88	
6	0,25	4,00	0,01	-0,16	0,32	1,75	
7	0,29	3,43	-0,19	-0,17	0,80	1,18	
8	0,33	3,00	-0,28	0,32	2,17	1,43	
9	0,38	2,67	0,18	0,21	0,94	1,18	
10	0,42	2,40	0,04	-0,26	0,85	0,76	
11	0,46	2,18	0,11	0,03	0,15	0,61	
12	0,50	2,00	-0,32	0,00	1,25	0,69	

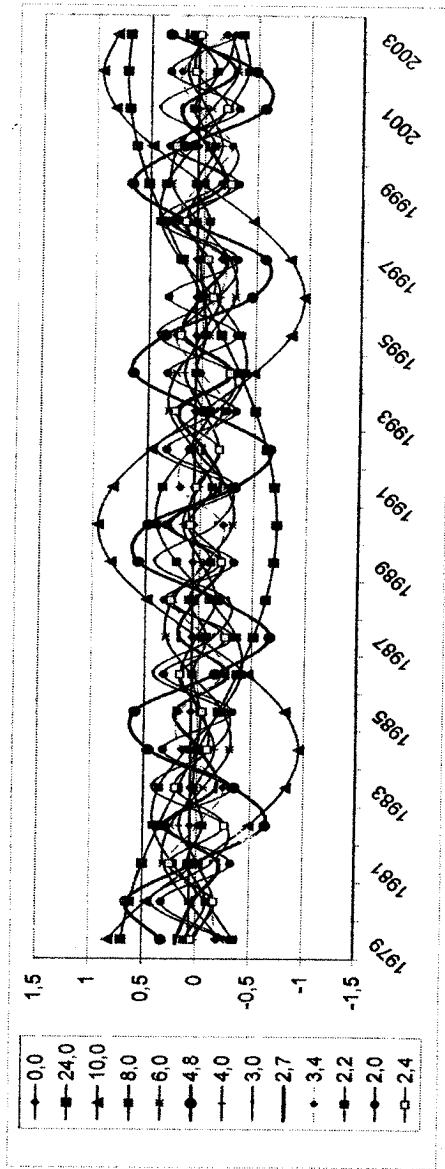
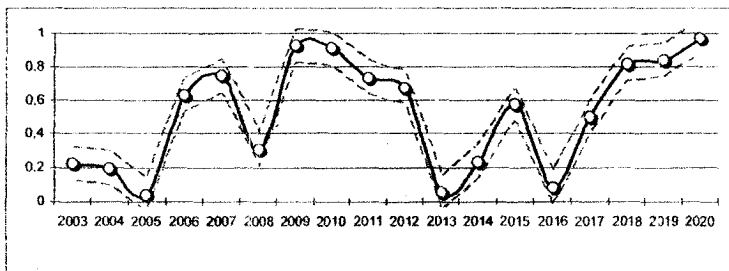
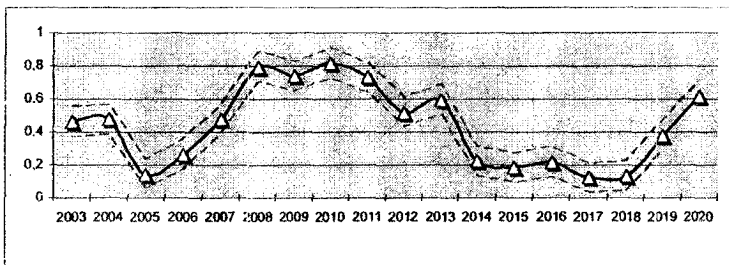


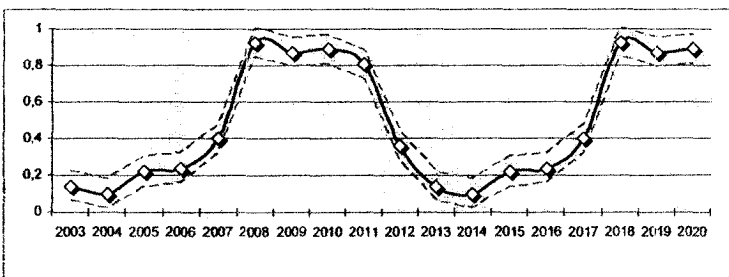
Рис. 6.1. Графік гармонік часового ряду комплексного показника



а)



б)



в)

Рис. 6.2. Прогнозні часові ряди ймовірності селевої активізації виконані за методами: а – сумациєю основних гармонік, б – нейронними сітками, в – осередненням ряду (пунктиром показано довірчий інтервал)

Для розв'язання поставленої задачі екстраполяції можуть використовуватись різні типи штучних нейронних мереж (ШНМ), наприклад, багатoshаровий персептрон, рекурентні ШНМ, ШНМ на основі радіально-базисних

функцій (РБФ). У нашому випадку для прогнозу ряду інтегрального показника використовується саме ШНМ з архітектурою багат шарового перцептрона. До переваг методів прогнозування з використанням (ШНМ) відноситься те, що ШНМ дають змогу проводити точну апроксимацію неперервної функції, незважаючи на відсутність чи наявність якої-небудь періодичності та циклічності, а також ШНМ мають невисоку чутливість до наявності шумів у вхідній інформації [145, 140]. Нейронні мережі характеризуються гнучкою структурою. Для її зміни достатньо регулювати кількість шарів та нейронів у визначеній архітектурі, а також кращого результату можна досягти зміною активаційної функції. Змінена структура мережі після виконання вказаних перетворень дозволяє як найкраще пристосувати обрану архітектуру і в свою чергу дозволить підвищити точність прогнозування. Інша перевага нейронних мереж полягає в тому, що вибір математичної моделі не залежить від експерта, тобто побудова нейромережевої моделі відбувається адаптивно під час навчання. Недоліком нейронних мереж є їхня недетермінованість, яка полягає у наявності, так званого, «чорного ящика», який прихованим чином вибирає передатні функції всередині мережі. Екстраполяція із застосуванням ШНМ виконувалась із використанням програмного продукту Statistica Neural Networks, який надає можливість редагування та модифікації ШНМ, об'єднання ШНМ в ансамблі різного виду для ефективної підготовки ШНМ.

У якості вхідних і вихідних елементів подаються значення розрахованого інтегрального показника, які інтерпретуються як часовий ряд. При цьому кожен елемент мережі будує зважену суму своїх входів із поправкою у

вигляді виразу, а потім пропускає цю величину активації через передавальну функцію, і таким чином отримується вихідне значення цього елемента. До уваги береться виявлена періодичність у 10 років, яка задається як вікно аналізу. Елементи організовані в пошарову топологію з прямою передачею сигналу. Проекція часового ряду, побудована цим методом, зображена на рис.7.4 б. З нього видно, що наступні піки багаторічної активності селів слід очікувати у 2020 році.

Осереднення ряду як метод прогнозування є дієвим тоді, коли відома періодичність коливань. Оскільки для ряду комплексного показника встановлено періодичність у 10 років, тому поділ ряду виконувався через кожне десятиріччя. Результируючий ряд зображений на рис. 7.4 в. За ним – наступна активізація можлива в 2018-2020 рр.

За формулами 3.19, 3.20 визначено довірчі інтервали за трьома методами: для екстрапольованого ряду сумациєю основних гармонік – 0,1, штучними неймережами- 0,09, осередненням ряду – 0,08. Беручи до уваги співпадіння піку наступної активізації за трьома способами екстраполяції у 2020 році, наступним періодом активізації селів із середньою ймовірністю 0,82 слід вважати 2018-2020 рік з похибкою ± 1 рік.

6.2. Побудова прогнозних картографічних моделей селенебезпеки.

Для створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки виконано наступні завдання .

Досліджувану територію поділено на квадрати

100•100 м. З вузлів квадратів створено новий картографічний шар – сітку, що містить 104 437 точки. На основі цього шару, шляхом накладання його на кожен із шарів, що відображає фактори, із застосуванням оверлейного аналізу зняті їх значення в кожній точці сітки.

Так як результати досліджень, наведені вище, вказали на наступний пік селевої активності у 2020 р. із високим значенням імовірності 0,82, прогностичну модель побудовано на цей рік. Розрахунок селенебезпеки в і-й точці виконується за формулою 3.21.

На основі створеної геоінформаційної моделі селенебезпеки побудовано прогностичні картографічні моделі селенебезпеки у вигляді інтерпольованої карти (рис. 6.3) та картограми по басейнах 3 і 4 порядків (рис. 6.4), у якій тематична змінна – середнє значення селенебезпеки по басейну [].

Формування певного виду селю в певному осередку з визначеною максимальною ймовірністю селенебезпеки за умови інтенсивних опадів буде відбуватися за схемою, наведеною на рис. 6.5.

Для перевірки запропонованої методології просторово-часового прогнозування селенебезпеки на основі розробленої прогностичної геоінформаційної моделі здійснено ретропрогноз – побудовано картограму по басейнах 3 і 4 порядків на 2008 рік (рис.6.6).

Проведено порівняння прогнозованої селенебезпеки з зареєстрованими селесходженнями. З 20 зареєстрованих селесходжень 14 спостерігалися у басейнах з прогнозованою дуже високою селенебезпекою (0,8-1); 4 - у басейні з прогнозованою високою селенебезпекою (0,6-0,8), тільки 2 селесходження відмічено у басейнах з

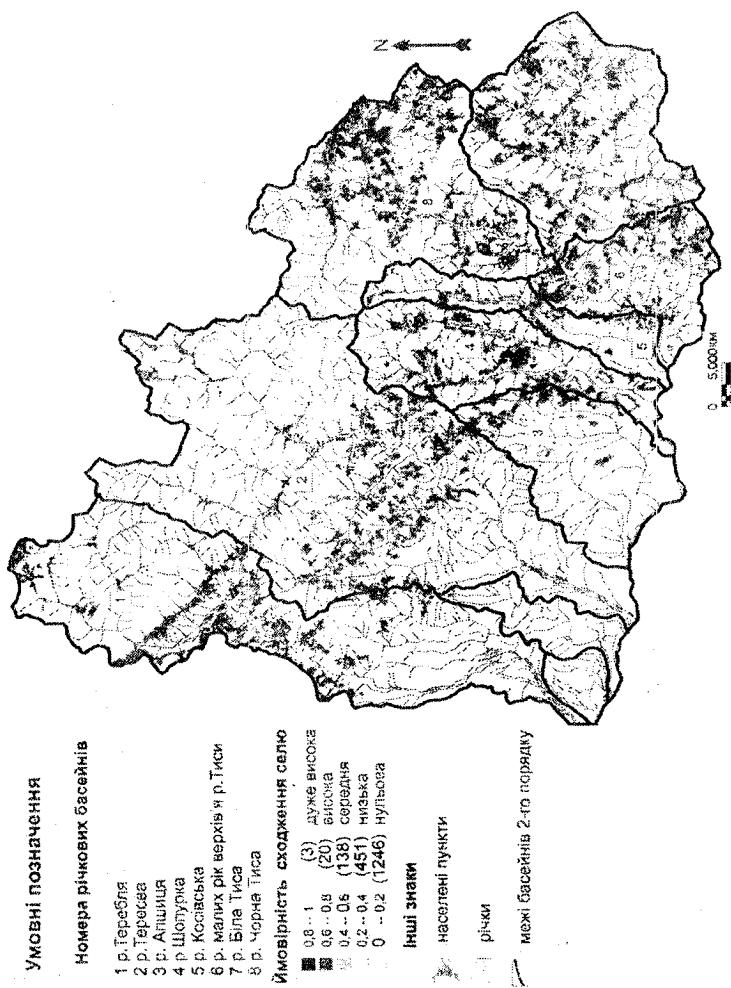


Рис. 6.3. Прогнозна карта селенебезпеки на 2020 р.

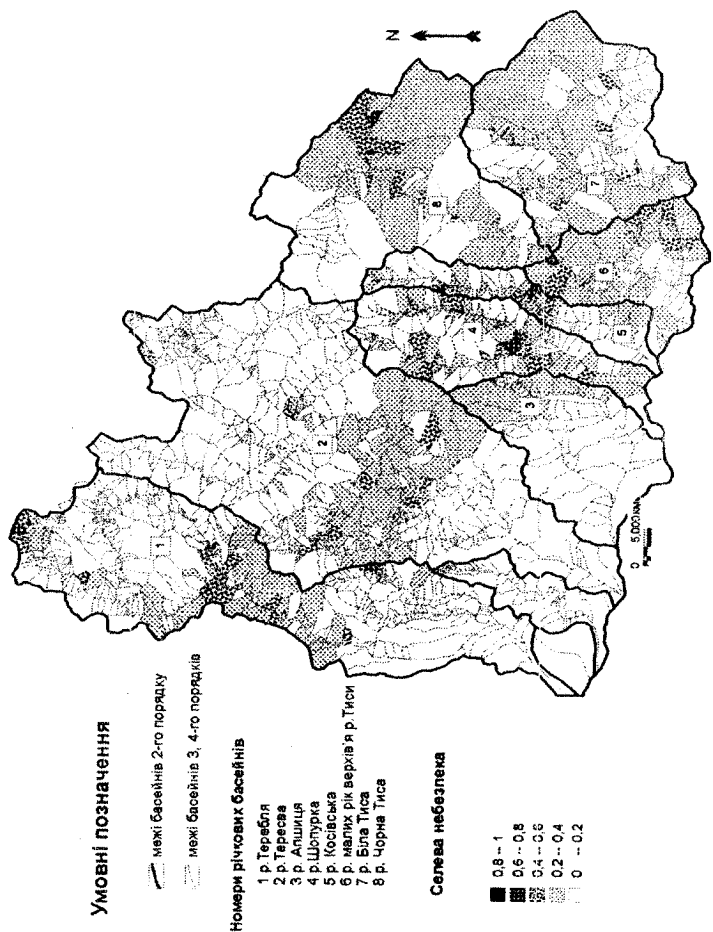


Рис. 6.4. Прогнозна картограма селенебезпеки на 2020р для басейнів 3, 4 порядків



Рис. 6.5. Формування певного виду селю при зливовій ситуації

низькою селенебезпекою. Потрібно відмітити, що у басейнах з нульовою селенебезпекою селесходжень не спостерігалось. Таким чином запропонована прогностична модель є релевантною.

Щодо похибки просторового прогнозу в будь-якій точці території, то вона визначається масштабом використаних карт і похибкою просторової прив'язки. Для масштабу регіонального рівня похибка карт оцінюється в $\pm 0,7$ мм. Отже, для наших досліджень, які відповідали масштабу 1:50 000, похибка просторового прогнозу складає ± 35 м.

Перспективи розвитку застосування даного дослідження розглядаються у двох напрямках: 1) створення автоматизованої геоінформаційної системи просторового часового прогнозування; 2) здійснення прогнозу та побудови геоінформаційних моделей селенебезпеки для геолого-геоморфологічно споріднених

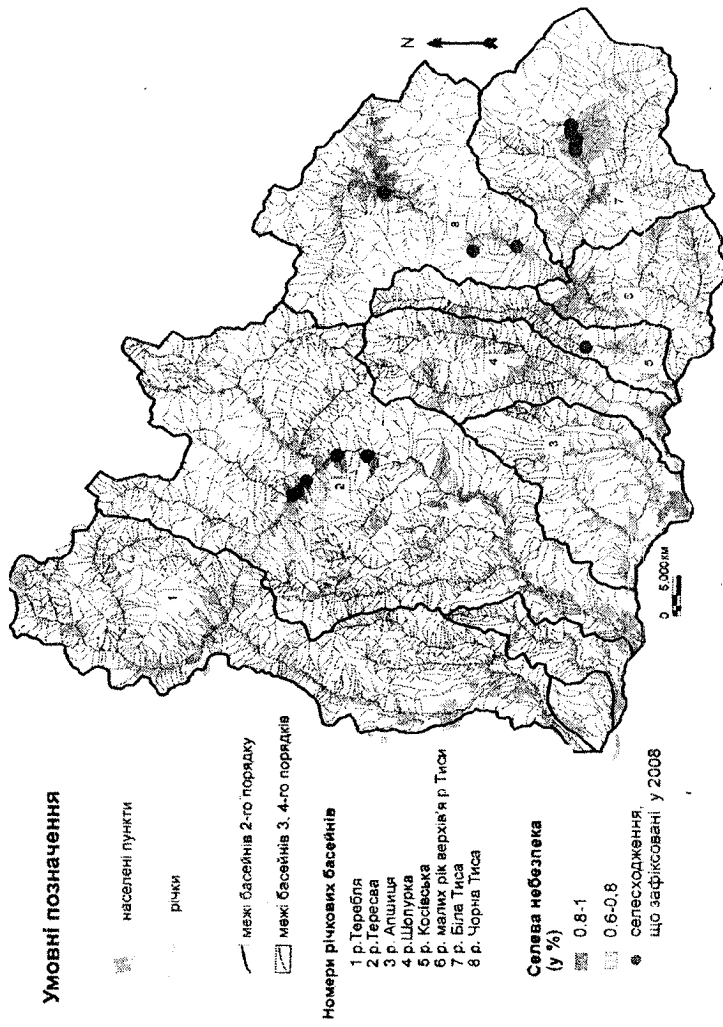


Рис. 6.б. Прогнозна картограма селенебезпеки на 2008 р для басейнів 3, 4 полянків та зафіксовані селесходження.

територій, а при врахуванні зміни тренду гармонік часових факторів можлива побудова таких моделей на наступні періоди часу для цієї ж ділянки.

Ефективність від впровадження даного дослідження залежить від масштабів його використання - на загальнодержавному рівні у проектних, науково-дослідних організаціях, виробничих структурах, територіальних управліннях з надзвичайних ситуацій, місцевих адміністраціях.

Економічний ефект при реалізації просторово-часового прогнозу селевої небезпеки може бути виражений в економії істотної частини окремих статей місцевих і державного бюджетів. Чималу роль можуть зіграти подібні аналітичні системи прогнозу і при забезпеченні безпеки будівництва й експлуатації господарських і інженерних споруд, при плануванні заходів щодо запобіганню аварійних ситуацій, захисту населення від стихійних лих, тощо.

ВИСНОВКИ

У монографії вирішена актуальна наукова проблема – регіональний просторово-часовий прогноз селевої небезпеки з урахуванням комплексної дії факторів на селеві процеси. Аналіз опублікованих праць у цьому напрямі свідчить про відсутність як теоретичних основ такого прогнозу, так і його практичного втілення для селевих явищ.

Запропонована методологія передбачає виконання таких етапів: формування картографічної бази можливих факторів розвитку селів, обґрунтування та вибір релевантних факторів із використанням статистичного та просторового аналізів, розрахунок еталонного просторового комплексного показника, побудова часової моделі багаторічної селеактивності, створення прогностичної геоінформаційної картографічної моделі селенебезпеки.

Як просторові обрано групи факторів і відповідні факторні ознаки, які є кількісною мірою дії факторів: геологічні (приналежність до літофаціальних і тектонічних зон, наявність зсувів, тектонічних розломів), геоморфологічні (кут нахилу, абсолютна висота, абсолютна висота вододілу, відстань до вододілу, базису ерозії), техногенні (відстань до дороги, населеного пункту), кліматичні (середня річна температура повітря), ландшафтні (відстань до межі лісу). Як часові – геліофізичні (числа Вольфа), сейсмічні (енергія землетрусів), метеорологічні (кількість опадів та температура повітря), гідрогеологічні (рівень ґрунтових вод).

Просторовий прогноз селенебезпеки здійснюється

на основі виявленого закономірного зв'язку просторового розподілу осередків селесходження від дії просторових факторів. Відмічено значну ураженість селевими водотоками Кросненської тектонічної зони – 7,4 % від загальної довжини водотоків зони; літофаціальних зон піщано-глинистого, глинистого флішу і соленосної зони – 5,6; 4,5; 4,1 % відповідно, що враховано в еталонному комплексному показнику. Разом із тим доведено, що жоден із факторів не є домінуючим, тобто комплексний підхід до урахування різноманітних факторів є єдиним шляхом достовірного прогнозу.

Часовий довгостроковий прогноз селевої активності базується на гіпотезі про закономірну повторюваність природних процесів. У часових рядах факторних ознак виявлено наступну квазіперіодичність: числа Вольфа – 10-11, 21-22; сумарна річна кількість опадів 3, 5, 7; середньорічна температура повітря – 10; середньорічний рівень ґрунтових вод – 21-24; сумарна річна енергія землетрусів – 8, 11-13, 21-22. На цій основі побудовано часову модель комплексного показника селевої активності, що відображає виявлену 10-річну регіональну періодичність селевої активності.

Запропонована прогностична геоінформаційна модель селенебезпеки базується на розрахованих комплексних просторовому і часовому показниках. На основі неї здійснено прогноз селенебезпеки для території східної частини Закарпаття на 2020 рік, який встановлено як рік наступного піку селеактивності з імовірністю 0,82. Виявлено 24 селевих басейни 3 і 4 порядку з найвищою селенебезпечністю 0.8-1. Для перевірки запропонованої методології просторово-часового прогнозування селенебезпеки на основі розробленої прогностичної

геоінформаційної моделі побудовано ретрокарту на 2008 рік, аналіз якої вказує на високий рівень достовірності прогнозу моделі – з 20 зафіксованих селесходжень 14 було спрогнозовано.

Розроблена часова модель активності селів дозволяє дати оцінку змін багаторічного режиму селеактивності залежно від впливу факторів, що становить практичний інтерес для цілей довгострокового планування розвитку регіонів, а також може бути прийнята до уваги при проектуванні селезахисних споруд. Побудована геоінформаційна картографічна модель селенебезпеки для частини території Карпатського регіону становить практичний інтерес для регіональних установ влади і служб надзвичайних ситуацій. Вона дає уявлення про можливе виникнення надзвичайних ситуацій на ділянках із високою ймовірністю селенебезпеки, а також дозволяє простежити розвиток селевих процесів на тих ділянках, де не ведуться натурні спостереження за сходженням селів. Виявлені залежності розвитку селевих процесів і факторів впливу можуть використовуватись для побудови геоінформаційних моделей селенебезпеки для геолого-геоморфологічно споріднених територій, а при врахуванні зміни тренду гармонік часових факторів можлива побудова таких моделей на наступні періоди часу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Berti M. Prediction of debris flow inundation areas using empirical mobility relationships / M. Berti , A. Simoni // *Geomorphology* – vol. 90 – 2007. – P. 144–161.
2. Chang Tung-Chiung. Application of back-propagation networks in debris flow prediction / Tung-Chiung Chang, Ru-Jen Chao// *Environmental Geology* –2006 – Volume 85– P. 270-280.
3. Chang Tung-Chiung. The application of genetic algorithm in debris flows prediction / Tung-Chiung Chang, Yue-Hone Chien // *Environmental Geology*.– Volume 53 – Number 2 – P. 339-347.
4. Coussot P. Recognition, classification and mechanical description of debris flows / P.Coussot , M. Meunier // *Earth Science Reviews*. – 1996. – vol. 40 – P. 209–227.
5. Debris flow 2011. Post conference report. [Електронний ресурс]. / Режим доступу.: – <http://www.wessex.ac.uk/10-conferences/debris-flow-2010.html>
6. Hobbs N.J. Long-Term Load Forecasting Using System Type Neural Network Architecture / Hobbs N.J., Kim B.H., Lee K.Y. // *Intelligent Systems Applications to Power Systems. International Conference ISAP, 2007*. – P. 1–7.
7. J. Xu. A study on the integrated regional meteorological forecast and warning model for geological hazards. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: матер. Междунар. конф., Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г. – Пятигорск, Институт «Севкавгипроводхоз», 2008. – С. 178-181.

8. Khain V. E. Geodynamic cycles and geodynamic systems of various ranks: Their relationships and evolution in the Earth's history / V. E. Khain, M. A. Goncharov // *Geotectonics*. – 2006. – Vol. 40. – N 5. – P. 327–344.
9. Mambretti S. Theoretical and experimental analysis of debris flow. /S. Mambretti, E. Larcán, D. De Wrachien // *Rheology and two-phase modelling. Irrigation and Drainage*. – 2008. – № 57. – P.555–570.
10. Martinez Cora E. Eulerian-Lagrangian Two Phase Debris Flow Model [Електронний ресурс] / E. Martinez Cora // *FIU Electronic Theses and Dissertations*. – 138 p. – 2009. Режим доступу – <http://digitalcommons.fiu.edu/etd/138>
11. Takahashi T. Debris flow / T. Takahashi – IAHR Monograph Series, Netherlands, Balkema Publishers, 1991. – 77 p.
12. Адаменко О. М. Основы экологической геологии / О. М. Адаменко, Г. И. Рудько – К.: Манускрип, 1995. – 348 с.
13. Айзенберг М. М. Гідролого-гідрографічна вивченість селевих явищ на Україні. Селеві потоки на території України. / М. М. Айзенберг, М. С. Каганер – М.: Недра, 1959. – 145 с.
14. Айзенберг М. М. Классификация селей и районирование бассейнов селеопасных рек Украинских Карпат / М. М. Айзенберг, М. Л. Вольфцун, Е. В. Хлоева // *Труды УкрНИГМИ* – 1969 – вып.85 – С.118-124.
15. Багрій І. Д. Активізація небезпечних геологічних явищ у Закарпатті як наслідок екстремальних паводків / І. Д. Багрій, П. В. Блінов, П. Ф. Гожик – К.: ІГН НАН України, 2004. – 210 с.

16. Белая Н. Л. Моделирование внутригодового распределения дождевых селей в горных регионах мира: автореф. дисс. канд географ. наук. / Н. Л. Белая – Москва: «Учебная полиграфия», 2005. – 26 с.
17. Боголюбова И. В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР / И.В. Боголюбова – Л.: Гидрометеиздат, 1957. –152 с.
18. Бойко В. М. Визначний дощовий паводок на річках Закарпаття в листопаді 1998 р. / В. М. Бойко , М. І. Кульбіда , М. М. Сусідко // Наукові праці Українського НД гідрометеорологічного ін-ту. – 1999. – вип. 247. – С. 91-101
19. Бондаренко В. Н. Статистические решения некоторых задач в геологии / В. Н. Бондаренко – М.: Недра, 1970 – 248 с.
20. Будз М. Геолого-геоморфологічна класифікація селевих потоків / М. Будз, І. Ковальчук // Вісник Львів. Ун-ту. – 2008. – № 35. – С. 28-33. – Серія геогр.
21. Величко Б. Л. Селевые потоки и мероприятия по борьбе с ними в Крыму: автореф. дисс. канд с/х наук / Б. Л. Величко – Харьков: УкрНИИЛХА, 1964. – 24 с.
22. Виноградов Ю. Б. Этюды о селевых потоках, / Ю. Б. Виноградов – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 144 с.
23. Виноградов Ю. Б. Возможные пути прогноза гляциальных селей. Селевые потоки / Ю. Б. Виноградов // Гидрометеиздат. – 1976 – С. 122–138.
24. Виноградов Ю. Б. Классификация селевых явлений. Селевые потоки./ Ю. Б. Виноградов // М., Гидрометеиздат – 1980. – Сб.4. – С. 46–51.

25. Виноградов Ю. Б. Современные проблемы гидрологии. / Ю. Б. Виноградов, Т. А. Виноградова – М.: «Академия», 2008. – 319 с.
26. Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности / Ю. И. Витинский – Л.: Наука, 1973. – 257 с.
27. Вишневский П. Ф. Расчет максимальных ливневых расходов воды в Украинских Карпатах / П. Ф. Вишневский // Тр. Укр НИГМИ. – 1977. – вып. 153. – С. 42-48.
28. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. / В. І. Вишневський – К.: Віпол, 2000. – 376 с.
29. Габчак Н. Ф. Вплив геолого-тектонічних факторів на стан геоморфосфери Закарпатської області / Н. Ф. Габчак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2009. – №20. – С. 23–27.
30. Гагошидзе М. С. Селевые явления и борьба с ними / М. С. Гагошидзе. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970. – 52 с.
31. Геодинамика Карпат; под ред. С. С.Круглова. – К.: Наукова думка, 1986. – 255 с.
32. Геренчук К. І. Природа Закарпатської області: [монографія] / К. І. Геренчук. – Львів: Вища школа, 1981. – 156с.
33. Гитис В. Г. Сетевые геоинформационные технологии для исследований в науках о Земле / В. Г. Гитис // Геодинаміка. – 2011. – № 2. – С.61-63.
34. Гірські автодороги Українських Карпат; за ред. В. О. Герасимчук. – Ужгород : «Закарпаття», 2000. – 269 с.

35. Демчишин М. Г. Инженерно-геологичне обґрунтування створення водосховищ для регулювання стоку на гірських водотоках Українських Карпат / М. Г. Демчишин, М. М. Хлапук, Л. А. Шинкарук // Рівне: Вид-во НУВГП – 2009. – Випуск 3 (47) – С. 277 – 289.
36. Демчишин М. Г. Современная динамика склонов на территории Украины (инженерно-геологические аспекты) / М. Г. Демчишин. – К.: Наук. думка, 1992. – 254с.
37. Долговременные прогнозы проявления экзогенных геологических процессов; под ред. В. Т Трофимова. – М.: Наука, 1985. – 152 с.
38. Дячук В. А. Паводки в Закарпатті та причини їх виникнення / В. А. Дячук, М. М. Сусідко // Український географічний журнал. – 1999. – № 1. – С. 48-51.
39. Експертний висновок щодо причин, що призвели до широкомасштабного прояву і важких наслідків катастрофічного паводку в Закарпатській області // Рідна природа. – 1998. – № 4-6. – С. 12-17.
40. Жуков М. Н. Вероятностно-статистические методы анализа геолого-геофизической информации / М. Н. Жуков. – К.: Вища школа, 1975 – 303 с.
41. Жуков М. Н. Математична статистика та обробка геологічних даних [Текст] : підручник / М. Н. Жуков. – К.: Київський ун-т, 2008. – 518с.
42. Жуков М. Н. Статистичний аналіз геологічних даних / М. Н. Жуков. – К., Віпол, 1995– 551 с.
43. Зак А. И. Гидрологические условия формирования селевых потоков на реках Армянской ССР и

- методика прогноза селеопасных периодов / А.И. Зак – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – вып.56(62) – 192 с.
44. Заключення наукової комісії по вивченню причин паводку 4-8 березня 2001 р. в Закарпатській області та перспективних заходів по уникненню таких катастрофічних явищ у майбутньому. – Ужгород, 2001. – 57 с.
 45. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов: научное открытие / Э. Д. Кузьменко, Е.И. Крыжанивский, А. Н. Карпенко, А.М. Журавель; Диплом №310. Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2006. – М.: МААНОИ, 2007. – С.64-65.
 46. Замай В. І. Дослідження прогнозного фону паводкової і селевої небезпеки на основі даних моніторингу надзвичайної події / В. І. Замай // Проблеми автоматики і управління – Бішкек: Ілім, 2008. – С. 97-103
 47. Замай С. С. Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем: Учеб. пособие / С. С. Замай, О. Э. Якубайлик. – Краснояр: гос. ун-т. Красноярск, 1998. – 110 с.
 48. Захист гірських автомобільних доріг від зсувів / [М. Д. Круцик, Л. В. Грицюк, О. Л. Грицюк та ін.]. – Коломия: "Галдорпрогрес", 2003. – 425с.
 49. Ищук А.А. Прогнозно-модельючий комплекс для Урядової інформаційно-аналітичної системи по надзвичайних ситуаціях / А. А. Ищук, В. Е. Козлитин, А. Д. Сенченко, В. Г. Швайко [Електронний ресурс] / Режим доступу:

http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number_21/14_model.html

50. Іванік О. М. Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем [Текст]: дис. д-ра геол. наук: 04.00.05 / Іванік Олена Михайлівна; Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. - К., 2010. - 362 арк.
51. Іванік О. М. Просторовий аналіз та прогнозна оцінка формування водно-гравітаційних процесів на основі ГІС у Карпатському регіоні /О.М. Іванік // Геоінформатика. – 2008. – № 4. – С. 52–58.
52. Іванік О. М. Структурно-тектонічний контроль розвитку водно-гравітаційних процесів у межах Свалявського та Воловецького районів Закарпатської області // Геол. журн. – 2007. – № 3. – С. 81-86.
53. Іванік О. М., Лісова О. М. Режим сучасних водно-гравітаційних та селевих процесів у Свалявському та Воловецькому районах Закарпатської області // Вісник Київського університету. Геологія. – 2007. – Вип. 40. – С. 24–26.
54. Іванік. О. М. Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем: автореф. дис. д-ра геол. наук : 04.00.05 / Іванік Олена Михайлівна ; Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – К., 2010. – 40с.
55. Ішук О. О. Методологічні особливості використання аналітичних та моделюючих засобів ГІС для прогнозування і оцінки наслідків надзвичайних ситуацій на території України / О. О. Ішук // Ученые записки Таврического университета им.

- В.И. Вернадского – 2002. – т.15 (54)– №1 – С. 94-101. – сер. геогр.
56. Кадастр (каталог) селеопасных рек и селевых паводков в горных районах Украинской ССР / А.Н. Олиферов, М. М. Айзенберг, Б. М. Гольдин – К., 1969. – 127 с.
57. Калуцький І. Ф. Стихійні явища в гірсько-лісових умовах Українських Карпат (вітровали, паводки, ерозія ґрунту) / І. Ф. Калуцький, В. С. Олійник. – Львів: Камула, 2007. – 240 с.
58. Карта селеопасных районов СССР / В. Ф.Перов, С. М.Флейшман – М.: ГУГК. – 1975.
59. Керемкулов В. А. Прогнозирование селей на трассе БАМ / В. А. Керемкулов, Т. Л. Киренская // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат.– 1984. – Сб.8. – С. 52-59.
60. Климчук Л. М. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / Л. М. Климчук, П. В. Блінов, В. Ф. Величко – Київ.: ВПЦ “Експрес”. – 2008. – 205 с.
61. Клюкин А. А. О картировании селевых очагов денудационного и оползневового генезиса /А. А. Клюкин, Е. А. Толстых // По вопросам методики картирования селей: матер. научно-техн.конф., Тбилиси. – Тбилиси, 1974. – С. 22-23.
62. Клюкин А. А. Экстремальные проявления неблагоприятных и опасных экзогенных процессов в XX веке в Крыму / А. А. Клюкин // Геополитика и экогеодинамика регионов. – Симферополь: ТНУ. – 2005. Т.1 – Вып.1. – С. 27-38.

63. Коваль Я. В. Катастрофічні паводки в Карпатах і напрямки запобігання їм / Я. В. Коваль // Львів: РВВ НЛТУ України – 2008. – № 6. – С. 47-50.
64. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз / І. П. Ковальчук – Львів: Інститут українознавства, 1997. – 440 с.
65. Кондратьева Н. В. Районирование территории Кабардино-балкарской Республики по селевой активности: автореф. дисс. канд. географ. наук / Н. В. Кондратьева – Нальчик: Высокгор. геофиз. ин-т, 2007. – 25 с.
66. Коноваленко О. С. Гідрологічна вивченість басейну Верхньої Тиси / О. С. Коноваленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: Ніка-Центр.-Т.13.– 2007. – С.42-57.
67. Красноок Л. М. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП / Л. М. Красноок, І. І. Драпіковська, А. А. Сергієнко – Київ: ДНВП, 2011. – 88 с.
68. Крохмаль А. Г. Факторы развития селевых явлений в бассейнах рек Кубани и Кумы / А. Г. Крохмаль, С. В. Панова, В. В. Хворостов // Научная мысль Кавказа – 2001. – № 1 (17). – С. 15-21.
69. Кузьменко Е. Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів [Електронний ресурс]: матеріали X Міжнар. конф. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» / Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, Т. Б. Чепурна, І. В. Чепурний, Л. В. Штогрин – Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см; – Систем, вимоги: Pentium; 32 Мб

- RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; MS Word 97-2003, – Назва з титул, екрану.
70. Кузьменко Е. Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів Частина 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. Закономірності активізації зсувів / Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, Т. Б. Чепурна, І. В. Чепурний, Л. В. Штогрин // Геоінформатика. – 2011. – № 3. – С. 61–74.
71. Кузьменко Е.Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів Частина 2. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів. Геоінформаційна система прогнозування ЕГП / Е.Д. Кузьменко, О.М. Журавель, Т.Б. Чепурна, І.В. Чепурний, Л.В. Штогрин // Геоінформатика. – 2011. – № 4. – С. 58–77.
72. Кузьменко Е. Д., Крижанівський Є. І., Карпенко О. М. Журавель О. М. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійності експлуатації трубопроводів// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005.— №4(17).– С. 24-35.
73. Кузьменко Э. Д. Универсальный алгоритм прогнозирования экзогенных геологических процессов/ Э. Д. Кузьменко // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VIII Міжнар. наук. конф., Київ. – Київ: Київський національний університет, 2007. – С. 16–17.
74. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе. – Л: Недра, 1977. – 479 с.

75. Ломтадзе В. Д. Теоретические основы инженерной геодинамики / В. Д. Ломтадзе // Инж. Геология. – 1985. – №5 – С. 3-12
76. Лук'янець О. І. Багаторічні коливання водності в Карпатах / О. І. Лук'янець, М. М. Соседко // Стихійні явища у Карпатах: матеріали Між нар. наук. конф., Рахів. – Рахів – 1999. – С.195-199.
77. Малі річки України: Довідник: за ред. А. В. Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 276 с.
78. Мальнева И. В. Система прогнозирования селей различных масштабов и заблаговременности. - Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: матер. Международной конференции. Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г. – Пятигорск, Институт «Севкавгипроводхоз», 2008, с. 188-191.
79. Манукьян Д. А. Геолого-геоморфологические факторы формирования селевых процессов / Д. А. Манукьян, Д. Р. Джаппуев // Проблемы научного обеспечения развития эколого-экономического потенциала России: матер. Всероссийской научно-техн. конф., Москва, 15 - 19 марта 2004. – Москва, 2004 –С. 126-128.
80. Мельник А. В. Українські Карпати: еколого ландшафтознавче дослідження / А. В. Мельник. – Львів: Вид. ЛНУ, 1999. – 286 с.
81. Методические рекомендации по составлению долгосрочных прогнозов экзогенных геологических процессов в системе государственного мониторинга геологической среды / [А. И. Шеко, Г. П. Постоев, В. С. Круподеров и др.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1999. – 78 с.

82. Методическое руководство по комплексному изучению селей; под ред. М. В. Чуринова, А. И. Шеко. – М.: Недра, 1971.– 164 с.
83. Мисак Т. Б. Вибір просторових факторів при створенні системи прогнозування селів / Т. Б. Мисак, І. В. Чепурний // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: матеріали XV Міжнар. наук.-техн. симпозиуму, Алушта, 13-18 вер. 2010. – Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2010. – С. 104-105.
84. Мисак Т. Б. Залежність інтенсивності селеутворення від приналежності до певних тектонічних зон та літофацій території Закарпаття / Т. Б. Мисак // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VIII Міжнар. наук. конф., Київ, 14-17 жовтня 2009. – Київ: Київський національний університет, 2009. – С. 273-275.
85. Мисак Т.Б. Побудова карти селенебезпеки з врахуванням інтегрального показника імовірності сходження селю / Т.Б. Мисак, Е.Д. Кузьменко // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: матеріали XV Міжнар. наук.-техн. симпозиуму, Алушта, 13-18 вер. 2010. – Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2010. – С. 102-103.
86. Мисак Т. Б. Просторовий аналіз та прогнозування поширення селевих вогнищ у Карпатському регіоні / Т. Б. Мисак // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2011. – № 1. – С. 211–222.
87. Мкртчян О. С. Геоінформаційний аналіз просторових зв'язків морфометрії рельєфу із геологічною

- структурою (на прикладі західної частини вододільно-верховинських та полонинських Карпат) / О. С. Мкртчян, Г. Р. Чупило // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: Зб. наук. пр. — 2008. — С. 250-261
88. Назаревич Л. Є. Зв'язок землетрусів Карпатського регіону України та прилеглих територій із сонячною активністю / Л. Є. Назаревич, О. В. Кендзера, А. В. Назаревич // Геоінформатика. — 2011. — № 2. — С.61-67.
 89. О цикличности карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью / Э. Д. Кузьменко, Е. И. Крыжановский, А. М. Карпенко, Р. С. Пронишин, Й. В. Чепурный [та ін.] // Геофизический журнал. — 2007. — № 4(29). — С. 66–76.
 90. Ободовский О. Г. Аналіз руслових процесів та рекомендації щодо управління русло-заплавним комплексом на передгірно-рівнинній ділянці Тиси / О. Г. Ободовский, В. В. Онищук, О. Є. Ярошевич // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук.збірник. — К.: Ніка-Центр — 2005. — Т.7. — С. 69-88.
 91. Ободовський О. Г. Гідроморфологічний аналіз руслових процесів р.Тересвя / О. Г. Ободовський, В. В. Онищук, Є. С. Цайтц, В. В. Гребінь, О. С. Коноваленко та ін. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — Київ.: Ніка-Центр. — 2001.— Т.2. — С.343-351.
 92. Олийнык В. С. Задержание дождевых осадков пологом еловых древостанов Карпат / В. С. Олийнык // Лесоводство и агролесомелиорация. — К., 1978.— Вып. 51.— С. 46–50.

93. Олиферов А. Н. Закономерности формирования селевых потоков в Крыму и Карпатах / А. Н. Олиферов // Ученые записки ТНУ. – 2004 – Т.171 – №4. – С.66-72. – Сер. географ.
94. Олиферов А. Н. Географические аспекты мелиорации селевых ландшафтов / А. Н. Олиферов – Симфероп. Ун-т, 1982. – 76 с.
95. Олиферов А. Н. Научные основы создания локальной системы мониторинга неблагоприятных природных процессов в Крыму / А. Н. Олиферов, И. Н. Огородник // Тектоника и полезные ископаемые Азово-Черноморского региона – Симферополь: АГЕО, 2000 – С.41-42.
96. Олиферов А. Н. Селевые потоки в Крыму и Карпатах /А. Н. Олиферов – Симферополь: Доля, 2007. – 175 с.
97. Олиферов А. Н., Огородник И. Н. Новые данные о селевых паводках в юго-восточном Крыму / А. Н. Олиферов, И. Н. Огородник // Пилигримы Крыма, 2001– Т.2. – С.144-149.
98. Отчет по региональному стационарному изучению современных экзогенных геологических процессов на территории Ивано-Франковской, Черновицкой, Тернопольской и Львовской области Украины за 1988 – 1991 гг. с обобщением материалов за 1985-1990гг. / [Г. И. Рудько и др.]. – Львов, фонды ДГП Західукргеологія, 1991. – 103 с.
99. Отчет по региональному стационарному изучению современных экзогенных геологических процессов на территории западных областей Украины за 1991-1993гг / [Г. И. Рудько и др.]. – Львов, фонды ДГП "Західукргеологія", 1993. – 123 с.

100. Отчет по стационарному изучению экзогенных геологических процессов на территории Ивано-Франковской, Черновицкой, Тернопольской и Львовской областей Украины за 1980 - 1983 гг. / [Г.И. Рудько и др.]. – Львов, фонды ДГП "Західукргеологія", 1984. – 99 с.
101. Палієнко В. П. Геоморфологічні та геодинамічні передумови виникнення екстремальних ситуацій у Закарпатті / В. П. Палієнко // Український географічний журнал. – 1999. – № 1. – С. 42-47.
102. Парамонов Д. А. Методика різномасштабного картографування умов формування селей на прикладі Призльбрусья: автореф. дисс. канд географ. наук. / Д. А. Парамонов – Москва: МГУ, 2005. – 27 с.
103. Перов В. Ф. Селевые явления на территории СССР. Итоги науки и техники / В. Ф. Перов – М.: ВИНТИ, 1989. – 149 с.
104. Перов В. Ф. Типология горных водосборов с проявлением селевого процесса / В. Ф. Перов // Всероссийская конференция по селям: матер. наук. конф. Нальчик, 2003– Нальчик, ВГИ, 2003 – С. 99-106.
105. Пиньковский С. И. Карта основных типов русел рек СССР и методика её составления. Тематическое картографирование в СССР. / С. И. Пиньковский – Л., 1967, – С. 112-115.
106. Попов И. В. Инженерная геология / И. В. Попов. – М.: Госгеолотехиздат, 1951. – 444 с.
107. Ресурси поверхночних вод СССР. Том 6. Україна і Молдавія. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 490 с.

108. Романюк О. С. Состояние инженерно-геологической изученности береговой зоны Крымского полуострова / О. С. Романюк, В. И. Морозов // Охрана природной среды в курортных зонах: матер. семинара (9-13 ноября 1989 г.). – М.: ВДНХСССР, 1989. – 88 с.
109. Рубан С. А. Ґрунтові води України. / С. А. Рубан , А. В. Ніколішина – Дніпропетровськ.: ДВ УкрДҐРІ, 2005. – 426 с.
110. Рудько Г. Катастрофічні процеси на схилах і заходи по захисту від паводків у басейні р. Тиси / Г. Рудько, В. Стецюк, Т. Ткаченко [Електронний ресурс] / Режим доступу:
www.anvou.org.ua/academy/herald.../visnyk_64_3_09_4_7-62.pdf
111. Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым , Карпаты) / Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш – К.: Задруга, 2006. – 624 с.
112. Рудько Г. І. Розвиток схилових гравітаційних процесів в Закарпатті у відповідності до тектонічної будови регіону / Г. І. Рудько, В. Д. Чебан, Е. Д. Кузьменко, М. В. Петрик // Геологічний журнал. – 2002. – №2. – С.66-72
113. Рудько Г. І. Наукові і методичні основи прогнозування екологічного ризику небезпечних геологічних процесів у Закарпатті у зв'язку з їх масовою активізацією / Г. І. Рудько, Л. М. Климчук, Є. О. Яковлев // Мінеральні ресурси України. – 1999. – № 2. – С.42-45.
114. Салихова Д. Х. Некоторые статистические характеристики синоптических процессов, приводящих к селевым паводкам в адырах и

- предгорьях Ферганской долины / Д. Х. Салихова – Труды САРНИГМИ, 1975. – вып.24 (105) – С. 66-72.
115. Світличний О. О. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / О. О. Світличний, С. В. Плотницький – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.
116. Сейнова И. Б. Ледники и сели Приэльбрусья / И. Б. Сейнова, Е. А. Золотарев – Москва: Научный мир, 2001. – 204 с.
117. Сейнова И. Б. Селевые потоки на Центральном Кавказе / И. Б. Сейнова // Склоновые процессы (лавины и сели). – М., Изд-во МГУ, 1980. – вып.4.– С. 106-110.
118. Селевая ассоциация (Debris Flow Association). Селевые конференции. [Электронный ресурс]./ Режим доступа –<http://www.rsk.land.ru/symposium.htm>
119. Сели Украинских Карпат. Горный Крым.: атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР / М. М. Айзенберг, Б. Н. Иванов, А. Н. Олиферов, Б. М. Гольдин , К.А. Михайлова. – М.: ГУГК при СМ СССР, 1978, – 111 с..
120. Селі України (Праці II української селевої наради); за ред. А.Є. Бабинець.– К.: Наукова думка, 1966.– 167 с.
121. Семенихина А. С. Особенности селевых очагов Карпат и Крыма и их классификация / А. С. Семенихина // Труды УкрНИИ – 1985. – вып.201.– С.125-132.
122. Сидорова Л. В. О гидрологическом районировании и долгосрочном прогнозе стока весенне-летнего половодья рек Армении / Л. В. Сидорова, Э. В. Суханская // Труды ЗакРНИИ. – 1984. – вып.83(90). – С.124-130.

123. Соседко М. Н. Особенности пространственной структуры полей осадков на территории Украинских Карпат / М. Н. Соседко // Тр.Укр НИГМИ. – 1980. – вып. 180. – С. 81-85.
124. Справочник по инженерной геологии; под ред. М. В. Чуринова. – М.: Недра, 1974. – 408 с.
125. Стойко С. М. Заподій катастрофічних паводків біля Закарпатті та система екологічних профілактичних заходів їх попередження / С. М. Стойко // Український ботанічний журнал. – 2000. – Т. 57– № 1. – С. 23- 24.
126. Стойко С. Паводки в Закарпатті і доля гірських лісів / С. Стойко // Дзеркало тижня : газета – 2001. – № 14 (338). – С. 12.
127. Стойко С. М. Причини катастрофічних паводків у Закарпатті та система екологічних профілактичних заходів їх попередження/ С. М. Стойко // Укр. ботан. журн. – 2000. – т. 57 – № 1. – С. 11-22.
128. Стойко С. М. Типи верхньої межі лісу в Українських Карпатах, їх охорона та засоби ренатуралізації / С. М. Стойко // Лісівнича академія наук: Наукові праці.– Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка» – 2004. – Вип.. 3. – С. 95-101.
129. Сусідко М. М. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наукові праці НДГМІ.– 1998. – Вип. 246. – С. 46—55.
130. Сусідко М. М. Методичні засади ймовірного прогнозування сільових явищ в Українських Карпатах / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 1999. – Вип. 247. – С. 114-124.

131. Сусідко М. М. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наукові праці УкрДГМІ – К. : Ніка-Центр, 2004. – Вип. 253 – С.196-205
132. Сусідко М. М. Селеві явища на території Карпат / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Укр. географ. журнал. – 1999. – №2. – С. 43-46.
133. Тепловой и водный режим Украинских Карпат: под ред. Л. И. Сакали. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 366 с.
134. Тукеев О.В. Селевые явления Памира: Катастрофа, закономерности, прогноз / Тукеев О.В. – М.: Научный мир, 2002.– 176 с.
135. Тяпкин О. К. Роль тектонического фактора при решении геозкологических задач / О. К. Тяпкин // Науковий вісник НГАУ. – 2009. – № 8. – С. 45-50.
136. Тяпкин О. К. Тектонический фактор в экологической геологии // Придніпровський науковий вісник. – 1998. – № 118(185). – С. 31-38. – Сер. геологія, географія.
137. Узагальнення матеріалів моніторингу екзогенних геологічних процесів по території України з використанням ГІС-технологій.: звіт про науководослідну роботу / [Л. М. Климчук, Л. М. Красноок та ін.] - ДНВП «Геоінформ України», 2009. – 292 с.
138. Український центр менеджменту Землі та ресурсів (УЦМЗР). Дослідження причин та наслідків повені в Закарпатті. [Електронний ресурс]./ Режим доступу – <http://www.ulrnc.org.ua/services/zakarpattia/photos ua.html>
139. Университетский центр инженерной геодинамики и мониторинга (УЦИГМ). Селевые

- конференції. [Електронний ресурс]/ Режим доступу – <http://www.ucegm.front.ru/conferences.htm>.
140. Уоссермен Ф. Нейрокомп'ютерна техніка: Теорія і практика / Ф. Уоссермен. – М.: Мир, 1992. – 240 с.
 141. Флейшман С. М. О класифікації селевих потоків / С. М. Флейшман // Метеорологія і гідрологія. – 1948. – №6 – С. 74–80.
 142. Флейшман С. М. Селеопасні райони Союзного Союзу / С. М. Флейшман, В. Ф. Перов – М.: Изд-во Моск. Ун-та., 1976. – 308 с.
 143. Флейшман С. М. Сели / С. М. Флейшман – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 148 с.
 144. Хаджиев М. М. Селеві прояви в басейні р. Камык і заходи по захисті г. Тырныауза від затоплення: автореф. дисс. канд. географ. наук. / М. М. Хаджиев – Нальчик: ГУ «Высокогорный геофизический институт», 2005. – 17 с.
 145. Хайкин С. Нейронні мережі: повний курс / С. Хайкин – М.: Вільямс, 2006. – 1104 с.
 146. Херхеулідзе І. І. Вказання по розрахуку характеристик дощових селей. / І. І. Херхеулідзе – Л.: Гидрометеоздат, 1975, – 50 с.
 147. Чебан В. Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття: дис. канд. геол. наук: 04.00.22 / Чебан Василь Дмитрович. – Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2002. – 183 с.
 148. Чепурна Т. Б. Створення прогностичної геоінформаційної моделі розвитку селевих процесів для ділянки території Карпат як фактора забезпечення надійності експлуатації трубопроводів / Т.Б. Чепурна // Безпека об'єктів нафтогазового

- комплексу: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і студентів, Івано-Франківськ, 5-7 вер. 2011. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2011. – С. 146-155.
149. Чепурна Т. Б. Геоінформаційний аналіз впливу тектонічної будови території Карпатського регіону на просторовий розподіл селевих осередків / Т. Б. Чепурна // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – №2(28). – С. 74-80.
150. Чепурна Т. Б. Довгостроковий просторово-часовий прогноз селеформування / Т. Б. Чепурна // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: матеріали V Всеукраїнської наукової конференції, Чернівці, 22-24 вер. 2011. – Чернівецький національний університет ім. Ю Федьковича, 2011. – С. 274-277.
151. Чепурна Т. Б. Довгостроковий часовий прогноз селевої активності на території Гірськокарпатського гідрогеологічного району / Т. Б. Чепурна, Е. Д Кузьменко // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10). – С. 38-46.
152. Чепурна Т. Б. Закономірність режиму активізації селевих процесів [Електронний ресурс]: матеріали X Міжнар. конф. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» / Т. Б. Чепурна – Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см; – Систем, вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP; MS Word 97-2003, – Назва з титул, екрану.

153. Чепурна Т. Б. Прогностична геоінформаційна модель селенебезпеки як фактор забезпечення надійності експлуатації трубопроводів / Т. Б. Чепурна // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – №3(29). – С. 95–99.
154. Черноморец С. С. Особенности морфолитодинамики селевых очагов Центрального Кавказа после катастрофических селей: автореф. дисс. канд географ. наук. / С. С. Черноморец. – Москва: Учебная полиграфия, 2003. – 26 с.
155. Черноморец С. С. Селевые очаги до и после катастроф / С. С. Черноморец. – М.: Научный мир, 2005. – 184 с.
156. Шеко А. И. Закономерности формирования и прогноз селей / А. И. Шеко – М.: Недра, 1980. – 296 с.
157. Шеко А. И. Классификация селевых потоков по гранулометрическому составу твердой составляющей / А. И. Шеко // Изучение и прогноз экзогенных геологических процессов. (Труды ВСЕГИНГЕО). – 1980. – вып.134. – С. 4–8.
158. Шеко А. И. Классификация селей и очагов их зарождения / А. И. Шеко // Методическое руководство по комплексному изучению селей. М., Недра, 1971, – С. 5–13.
159. Шеко А. И. Методы долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов./ А.И. Шеко, В.С. Круподеров – М.:Недра, 1984.–138 с.
160. Яблонский В. В. Связь масштабности селей Карпат с природными и антропогенными факторами селеформирования / В.В. Яблонский // Тр. УкрНИГМИ. – 1991. – Вып. 240. – С. 97-122.

Наукове видання

**КУЗЬМЕНКО Едуард Дмитрович,
ЧЕПУРНА Тетяна Богданівна**

**ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛЕВИХ ПРОЦЕСІВ
МОНОГРАФІЯ**

Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
тел. (03422) 42453, факс (03422) 42139,
<http://nung.edu.ua>, e-mail: public@nung.edu.ua

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
Ю № 18 від 12.03.2002 р.

Підписано до друку 21.07.2014 Формат 60x84¹/16 Папір офсетний
Ум. друк. арк. 14.8 Тираж 300 прим. Замовл. № 228