

УДК 551.311.21

Е.Д. КУЗЬМЕНКО, Т.Б. ЧЕПУРНА

Кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, Україна, 76019, тел. +38(0342)504761, ел. пошта gbg@nuing.edu.ua

ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЛІВ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

Мета. Метою досліджень є встановлення закономірностей розвитку селевих процесів залежно від дії факторів, що їх зумовлюють, та виконання регіонального просторово-часового прогнозування селенебезпеки із застосуванням геоінформаційних технологій. **Методика.** Із застосуванням геоінформаційних технологій обрано релевантний і репрезентативний комплекс значущих за характером впливу факторів, які запропоновано використовувати при регіональному прогнозуванні селенебезпеки. В якості просторових чинників обрано геологічні, геоморфологічні, техногенні, кліматичні, ландшафтні. Просторовий аналіз здійснюється на основі виявлення закономірного зв'язку просторових факторних ознак з просторовим розподілом вогнищ селесходження. Часовий довгостроковий прогноз селевої активності ґрунтується на гіпотезі про закономірну повторюваність природних процесів. Часовими чинниками обрані геліофізичні, сейсмічні, метеорологічні, гідрогеологічні. Можна стверджувати про наявність ритмічності як у ряді селевої активності, так і в групах факторів. На підставі розподілу факторів розраховані функції еталонного комплексного просторового показника ймовірності розподілу вогнищ селесходження і комплексного показника часової багаторічної селеактивності. **Результати.** Остаточним результатом досліджень є створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки, яка будується на основі виявлених закономірностей просторового і часового поширення селів з урахуванням сумарного комплексного впливу факторів. **Наукова новизна.** Розглянутий варіант вирішення актуальної наукової проблеми – регіонального просторово-часового прогнозу активізації селевих процесів з представленням теоретичного обґрунтування, алгоритму прогнозу та результатів апробації на конкретній території. **Практична значущість.** Розроблена модель багаторічної активності селів для ділянки території Карпат дозволяє оцінити зміни багаторічного режиму селеактивності залежно від впливу факторів, становить практичний інтерес для цілей довгострокового планування розвитку регіонів, а також може бути взята до уваги під час проектування селезахисних споруд. Виявлені залежності розвитку селевих процесів і чинників впливу можна використовувати для побудови геоінформаційних моделей селенебезпеки для геолого-геоморфологічно подібних територій, а у разі врахування зміни тренду гармонік часових факторів можлива побудова таких моделей на наступні періоди часу.

Ключові слова: селі, селева активність, селева небезпека, часові фактори, просторові фактори, геоінформаційна модель.

Вступ

На основі загальноприйнятих визначень, селі – це раптові короточасні гірські потоки, сильно насичені твердим матеріалом (до 60–70 % від загального об'єму), які виникають за певних природних умов після злив, у разі інтенсивного танення снігу і льоду, під час зсувів ґрунту, при прориві завалів русел і гребель у річкових басейнах, де є великі запаси пухкого матеріалу. Для селів характерний пульсуючий рух твердого матеріалу і води, який супроводжується деформацією русла і закінчується формуванням конусу виносу.

Світова статистика селесходжень свідчить, що селі є доволі поширеним і частим явищем. Випадки сходження селів спостерігаються в багатьох країнах світу. Відомо, що понад 15% суші Землі є тією чи іншою мірою селенебезпечними. У Європі селеві потоки спостерігаються 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 переважно країни, розташовані в зонах Анд і Кордильєр (США, Мек-

сика, Колумбія, Перу, Чилі та ін.). Спостерігаються також селеві явища в гірських районах Африки та Австралії, а також на островах Тихого, Атлантичного й Індійського океанів (Шрі-Ланка, Мадагаскар) [Кондратьєва, 2007]. Щодо України, то до територій, які є селенебезпечними, належать Крим і Карпатський регіон [Красноок Л.М та ін., 2011; Узагальнення матеріалів моніторингу..., 2009]. В АР Крим нараховуються три селеактивні басейни з 42 селенебезпечними водотоками загальною довжиною 202,6 км. У Карпатському регіоні також нараховується три селеактивних басейни, у межах яких у Гірських Карпатах та Передкарпатті відмічено 390 водотоків із селесходженням, які займають площу 3917,4 км², а в Закарпатті майже 40 % річкових басейнів характеризуються розвитком селевого процесу – у верхів'ях 270 водотоків на площі 1083 км².

До фундаментальних досліджень по селевій тематиці належать роботи, авторами яких є: М.М. Айзенберг, І.В. Боголюбова, Б.Л. Величко, Б.Ф. Виноградов, М.С. Гогошидзе, Б.М. Гольдін, Б.М. Іванов, В.Ф. Перов, І.І. Херхеулідзе, С.М. Флейшман, А.І. Шеко, Р. Conssot, Т. Takahashi. Крім перелічених, до сучасних

зарубіжних вчених-дослідників селевих процесів належать: М.М. Хаджієв, Н.М. Белая, Д.А. Парамонов, С.С. Черноморець, Daniele De Wrachien, Martinez Coga та ін. Дослідженням селевих явищ в Україні сьогодні активно займаються О.М. Адаменко, О.М. Іванік, Е.Д. Кузьменко, О.І. Лук'янець, А.М. Оліферов, Г.І. Рудько, М.М. Сусідко, Т.Б. Чепурна, С.О. Яковлев та ін. Обсяг статті не дозволяє навести посилання на праці зазначених дослідників. Про актуальність цього питання свідчать щорічні звіти міжнародних селевих конференцій і симпозіумів (4-та Міжнародна конференція "Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита", Пятигорск, Росія, 2008 г., Міжнародний симпозіум "Floods and Modern Methods of Control Measures", Тбілісі, Грузія, 2009р., 3-тя Міжнародна конференція "Debris Flow" Мілан, Італія, 2010 р., 5-та Міжнародна конференція "Debris-Flow Hazards Mitigation" (Падуа, Італія, 2011 р.).

Природно, що кінцевим етапом дослідження селевих процесів має бути їх прогнозування. Зазначене прогнозування є доволі складною та трудомісткою задачею, що зумовлено великою кількістю факторів, що впливають на їх розвиток у просторі та активізацію в часі, а також відсутністю довгих неперервних рядів селеактивності та даних щодо всіх випадків селесходження.

У роботах, присвячених селевій проблематиці, автори так чи інакше розглядають питання погоди та клімату як основного механізму реалізації селевого процесу. Існує велика кількість прогнозних методів, що заснована на зв'язках розвитку селів з кліматичними параметрами. Серед таких робіт можна зазначити спробу прогнозу для територій Середньої Азії, Центрального Кавказу, траси Байкало-Амурської магістралі, Чорноморського узбережжя Кавказу, острова Сахалін, окремих районів Китаю та багатьох інших [Виноградов, 1976; Зак, 1974; Сейнова, 1980; Керемкулов, 1984; Сидорова и др., 1984; Сейнова и др. 2011; J. Xu, 2008]. Оригінальний графоаналітичний метод прогнозу, пов'язаний з диференціацією річкових басейнів за абсолютними висотами, запропоновано в роботі [Тукеев, 2002]. Протягом останніх 10–15 років спостерігається істотна зацікавленість використанням методів штучного інтелекту для розв'язання низки прогностичних задач, зокрема застосуванням штучних нейронних мереж [Chang Tung-Chiung, 2006, 2007; Berti, 2007]. Слід зазначити, що у окремих роботах (територія острова Тайвань) автори прагнуть до використання ширшого комплексу факторів. Така ж тенденція використання комплексного підходу відзначається у роботах [Замай, 2008; Сусідко та ін., 1999].

Щодо розвитку методології прогнозування селів для українських Карпат, то висновок не є втішним. Схема моніторингу екзогенних геологіч-

них процесів, запропонована в [Красноок Л.М та ін., 2011], для селів не деталізована і не апробована. Тут деталізований лише процес створення бази даних. Чи не єдиною працею у цьому напрямку є довгостроковий прогноз селів, складений на основі 11-річного сонячного циклу [Адаменко та ін., 1995].

Автори цієї статті опублікували цикл робіт щодо прогнозування селевої активності, в яких розглядаються окремі аспекти проблеми. Узагальнення виконано в роботі [Чепурна, 2011] і тепер пропонується читачу в скороченому вигляді.

Мета

Метою наведених досліджень є встановлення закономірностей розвитку селевих процесів залежно від дії факторів, що їх зумовлюють, та виконання регіонального просторово-часового прогнозування селенебезпеки із застосуванням геоінформаційних технологій.

На шляху до реалізації поставленої мети розв'язано такі задачі:

- аналіз сучасних досліджень із прогнозування селевої небезпеки;
- удосконалення методології регіонального просторово-часового прогнозування екзогенних геологічних процесів для прогнозування селевої небезпеки;
- вибір релевантного та репрезентативного комплексу факторів, що впливають на просторовий та часовий розвиток селів, та оцінювання ступеня впливу кожного фактора;
- розрахунок функції еталонного комплексного просторового показника ймовірності розподілу осередків селесходження;
- визначення та обґрунтування комплексу факторних характеристик як кількісної міри оцінки впливу кожного з факторів;
- розрахунок функції комплексного показника багаторічної селеактивності;
- створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки на рік наступної максимальної активізації селів для території апробації теорії прогнозування.

Відзначимо, що апробація здійснена для території східної частини Закарпаття.

Методика

Методологія регіонального довгострокового просторово-часового прогнозування селенебезпеки. Процес створення довгострокового просторово-часового прогнозу селенебезпеки передбачає виокремлення трьох основних етапів:

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

II. Розрахунок функції багаторічної селевої активності.

III. Створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки.

1. Розрахунок функції еталонного просторового комплексного показника виконується за такими етапами.

1. Створення у ГИС-пакеті картографічної бази.

Картографічна база являє собою сукупність цифрових картографічних шарів (фактичних даних селесходження і факторів, які впливають на селеві процеси), поданих у цифровій формі з атрибутивною інформацією. Використання картографічних шарів у середовищі географічної інформаційної системи (ГИС) дозволяє виконувати аналітичні операції з картографічними об'єктами та атрибутивною інформацією для одержання кількісних характеристик кожного фактора, що впливає на розвиток селів у просторі – просторових факторних ознак.

Комплексний підхід під час прогнозування селесходження вимагає залучення до аналізу усіх груп факторів, що впливають на селеві процеси на регіональному рівні. Такий відбір проводиться теоретично – за наявності згадування у літературних джерелах зв'язку розвитку селєвих процесів із певним фактором та з використанням апріорної інформації про природу і фізику селєвих явищ.

2. Проведення просторового аналізу.

Застосуванням картометричних оверлейних операцій з метою подальшого пошуку закономірного зв'язку між селевими процесами і факторами за допомогою вбудованих модулів ГИС-пакета розраховуються відстані до точкових і лінійних об'єктів, які представляють обрані фактори. Для простеження інтенсивності селесходжень по факторах, які у картографічному відображенні є окремими площинними об'єктами (зонами), розраховується їх ураженість селевими водотоками за формулою

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

де U – ураженість зони (факторна ознака зони); l_i – довжина i -го селевого водотоку; k – кількість селєвих водотоків у межах зони; L_j – довжина j -го водотоку; n – кількість водотоків у межах цієї зони. Обчислені кількісні характеристики факторів у подальшому називатимемо факторними характеристиками.

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

Виявлення закономірного зв'язку між просторовим розподілом осередків селесходження і факторами виконується перевіркою відповідності розподілу факторних характеристик до нормального закону розподілу. До значень факторних

характеристик, розподіли яких відповідають логнормальному закону, застосовують процедуру логарифмування.

Обов'язковою умовою врахування під час прогнозування певного фактора є його унікальність, що досягається вилученням з аналізу дублюючих факторів. Такий аналіз проводиться методом, що застосовується в розпізнаванні образів у разі зменшення розмірності простору ознак, а саме – факторним аналізом.

4. Розрахунок інформативності факторних ознак.

Ґрунтується на кореляційному аналізі. На цьому етапі розраховується парна кореляція між масивами значень факторних ознак.

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

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^k |r_{ij}|}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k |r_{ij}|} \cdot 100\% \quad (2)$$

де $r_{i,j}$ – значення коефіцієнта парної кореляції між i і j змінними в таблиці матриці коефіцієнтів кореляції. Фактори, характеристики яких мають коефіцієнт інформативності близький до нуля, з розгляду вилучаються.

5. Розрахунок функції еталонного комплексного просторового показника.

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

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

$$Q_i = \sum_{j=1}^k z_{ij} \cdot V_j, \quad (3)$$

де z_{ij} – нормоване значення показника j -ї факторної ознаки для i -го селепрояву; k – кількість факторних ознак, V_j – ваговий коефіцієнт інформативності.

У такому випадку функція розподілу еталонного просторового комплексного показника описує криву нормального закону розподілу.

$$f(Q_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

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

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

II. Розрахунок функції комплексного показника багаторічної селевої активності

Оскільки ступінь активності селів у конкретні роки обумовлений силою впливу факторів, що визначають цей процес, першим кроком під час побудови часової моделі багаторічної селевої активності є вибір релевантних часових факторів, що сприяють багаторічній активізації селів у певному районі. Це фактори, вплив яких на селевий режим у регіональному масштабі є доведеним. До них належать такі групи факторів: кліматичні, сейсмічні, гідрогеологічні та геліофізичні.

Аналіз часових рядів проводиться в такій послідовності.

1. Пошук періодичності в рядах факторів з застосуванням автокореляційної функції

$$R_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) f(t-\tau) dt, \quad (5)$$

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

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

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)), \quad (6)$$

a_0 , a_n і b_n – коефіцієнти функції f , які вираховуються за загальновідомими формулами.

3. Проведення попарної кроскореляції між рядами селевої активності та факторами із 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 :

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}(k)}{s_x s_y}, \quad \text{для } k = 0, \pm 1, \pm 2, \quad (7)$$

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 з метою трансформації значень, виражених у фізичних величинах, у безрозмірні показники контрастності.

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

$$\Omega_t = \sum_{j=1}^m z_{tj}, \quad (8)$$

де z_{tj} – нормоване значення j -ї факторної ознаки в t -му році; m – кількість часових факторних ознак. Сумація проводиться між зміщеними рядами. 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 .

III. Створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки

Екстраполяцію рядів пропонується проводити трьома способами: сумацією основних гармонік, виявлених у результаті аналізу Фур'є, нейронними мережами і осередненням ряду інтегрального показника з урахуванням основного періоду селевої активізації.

За ймовірну помилку отриманих прогнозів приймається довірчий інтервал, який визначається з урахуванням оцінки перевірочних прогнозів.

Для створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки досліджуваної території будується регулярна мережа точок. Із застосуванням оверлейного аналізу знімаються значення факторних ознак у кожній точці сітки. Далі розраховані значення порівнюються з еталонними і визначається ймовірність (селенебезпеку) у i -й точці $P(Q_i)$.

Для розрахунку селенебезпеки використовується формула обчислення селенебезпеки $P(i,t)$ у просторі (точка i на поверхні Землі з координатами (x, y) та в часі (на рік t))

$$P_{i,t} = P(Q_i) \cdot P(\Omega_t) \quad (9)$$

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

Для перевірки якості прогностичної геоінформаційної моделі будується ретропрогнозна карта на рік минулої пікової селевої активності. Порівнюється прогнозована селенебезпека з фактичними селепроявами.

Характеристика території Карпатського регіону з погляду сприяння селесходженню.

Обґрунтування факторів, що впливають на селеві процеси

Пояснено закономірне поширення осередків селесходження залежно від геолого-тектонічних, геоморфологічних, кліматичних, літофасціальних, ландшафтних, техногенних, гідрогеологічних, сейсмічних, геліофізичних і метеорологічних груп факторів. Незважаючи на територіальну прив'язку, слід вважати, що запропоновані фактори є універсальними і діють для будь-якої території, хоча не варто унеможлилювати їх корегування чи доповнення.

У літературних джерелах наведено детальну геологічну характеристику Карпат [Геодинаміка Карпат..., 1985], тому в статті автори обмежились наведенням карти літофаціальної будови Закарпаття із зазначенням ділянок сходження селів (рис. 1).

Літофаціальний тип підстилаючих гірських порід є вагомим фактором, що бере участь у

селевих процесах. Саме літофаціальні особливості вказують на здатність геологічного середовища до утворення пухкого матеріалу, який у разі селесходження утворить тверду складову селю. Крім того, літологічний склад порід характеризує здатність порід підлягати руйнації під впливом атмосферних вод та інших зовнішніх впливів.

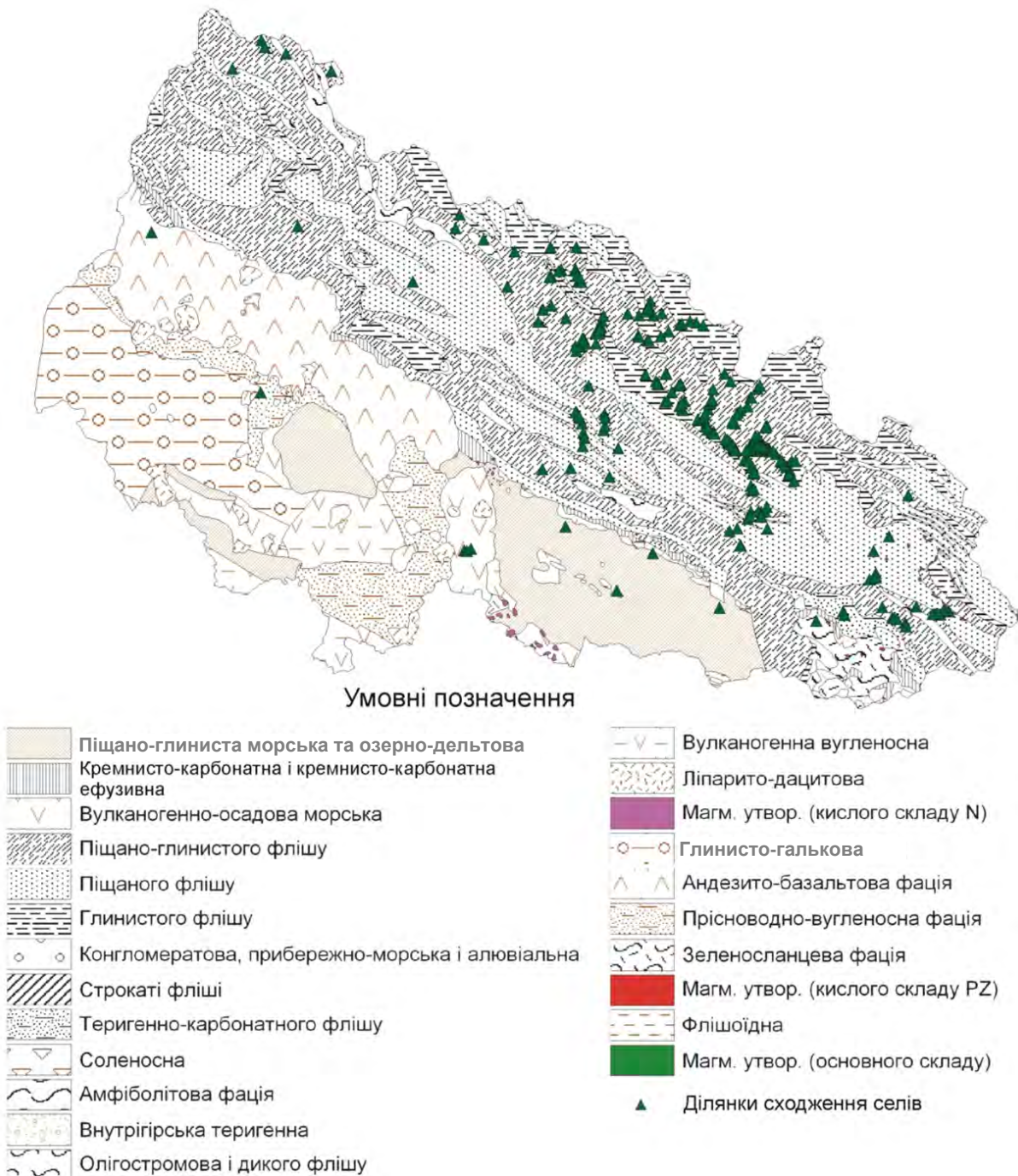


Рис. 1. Літофаціальна будова Закарпатської області

Відзначимо, що геоструктурне положення Закарпатського регіону має ту особливість, що в його межах здійснюється зчленування Західних і Східних Карпат, які неістотно відрізняються будовою своїх зовнішніх структурних елементів, але мають різкі відмінності в структурній будові та історії геологічного розвитку внутрішніх тектонічних зон. Із двадцяти одиниць загально-прийнятого тектонічного районування Українських Карпат з обрамленням їх Предкарпатським передовим і Закарпатським внутрішнім прогинами п'ятнадцять є в Закарпатському регіоні. Це – Кросненська зона, Чорногірський покрив (зона), Дуклянський, Поркулецький, Рахівський, Магурський покриви, Мармароський масив, зона Мармароських скель, зона Пенінських скель, зона Підгаля, Вигорлат-Гутинське магматичне пасмо, Крайова, Центральна, Припаннонська зони, Паннонська западина.

З погляду диференціації площинного розподілу селевих осередків у відповідності до тектоніки встановлено, що селеві процеси найбільше розвинуті в Кросненській тектонічній зоні. Це пояснюється загальною депресивною будовою. Розвинуті тут тонкоритмічні піщано-глинисті флішові товщі утворюють дрібні складки, мають підвищену тріщинуватість і розірвані на окремі луски. Наявність тектонічної порушеності та подрібненості полегшує розмив гірських порід і поповнення селів твердим матеріалом. Різко розчленований рельєф, круті схили, які нагадують альпійські форми, дають енергію селевим потокам для руху. Також відзначений розвиток селевих процесів у межах Поркулецького і Дублінського покривів, що пояснюється можливістю формування селів у зв'язку з присутністю пухко уламкового матеріалу в результаті наявності порід, що легко руйнуються, значних нахилів денної поверхні тощо.

Розподіл селевих водотоків у просторі неодмінно залежить від відстані до базисів ерозії, оскільки селесходження залежать від форм рельєфу, які зумовлюють розвиток гідрологічної мережі. Це також пояснюється тим, що селі, які формуються у результаті інтенсивних опадів, здебільшого сходять по тимчасових водотоках і прямують під дією гравітації до долин рік (базисів ерозії).

Відзначається, що підризування схилів під час будівництва автошляхів активізує процеси селесходження. Особливо це стосується селів, що є похідними від зсувів і оплинів, які стають основними джерелами твердої складової селю. На виникнення селів також впливає знищення рослинності та руйнування поверхневого шару ґрунту під час будівництва доріг.

Відзначається закономірність розподілу осередків селесходження від відстані до вододілу, що здебільшого пояснюється підвищеною тріщинуватістю порід у вододільних зонах, що сприяє

інтенсивній інфільтрації атмосферних опадів у гірські породи з подальшою фільтрацією уздовж схилів, з урахуванням погіршення їхніх фільтраційних характеристик і зменшення міцності й відповідно стійкості порід униз по схилу. Це все сприяє утворенню незв'язаного пухкого матеріалу, що надалі формує тверду складову селевого потоку.

Кут нахилу денної поверхні схилу є одним із визначальних факторів розвитку селевих процесів. Основними ознаками рельєфу, що впливають на характер та інтенсивність селевих процесів, є похили селевих русел, крутизна схилів та морфологія долин. Яка кількість опадів не випала б у цьому басейні та яка б кількість продуктів руйнування не накопичувалась у селевому осередку, утворення селю неможливе, якщо рельєф басейну, а точніше похил селевого річища, не сприятиме переміщенню цих продуктів разом з водною складовою донизу у вигляді руслових потоків.

Беручи до уваги те, що у цій роботі досліджуються селі, які зумовлені атмосферними опадами, то атмосферні опади є визначальним фактором. Під час досліджень беруться до уваги середня річна кількість опадів (у просторовому аналізі) і сумарна річна кількість опадів (у часовому аналізі селевої активності). Атмосферні опади, крім того, що беруть участь у селеутворенні як складова водної фази селю, визначають зволоження ґрунтів, суфозію. Атмосферні опади слугують спусковим механізмом для інших видів екзогенних геологічних процесів, які стають джерелами живлення для селів.

Конкретну величину впливів населених пунктів на селеві процеси важко оцінити. Це може бути вплив комунально-промислового, водогосподарчого, транспортного, сільськогосподарського й ліспромислового комплексів, які більшою чи меншою мірою порушують природний стан навколишнього середовища. Значення цього фактора помітно диференційоване у просторі й часі та за характером впливу на розвиток селів.

Зсувні процеси широко розвинуті у Карпатському регіоні і не рідко в селенебезпечних басейнах. Часто зсуви є активаторами селесходжень, вносячи в селю пухкоуламковий матеріал.

Зв'язок сонячної активності з селеактивністю Карпатського регіону є відомим і доведеним фактом. Цей вплив здійснюється опосередковано, шляхом передачі енергії, а також через вплив на клімат Землі, передусім на закономірності циркуляції повітряних мас, опадоутворення, температуру.

Вплив середньорічної температури повітря на селеактивність можна пояснити руйнуванням гірських порід під тривалим температурним впливом, а також цей фактор відображає переважаючий атмосферний циркуляційний вплив упродовж року.

Сейсмічність впливає на низку геодинамічних процесів, зокрема на формування твердої фази селевих потоків за рахунок сейсмічних обвалів, зсувів, осипів і опливин. У сейсмічності Карпат чітко виділяються періоди активізації, що замінюються майже повним затишшям для всього регіону. Значення землетрусів у формуванні джерел твердої складової селів вагоме: до залишкових сейсмодислокацій приурочені крупні зони підвищеної тріщинуватості гірських порід, які сприяють вивітрюванню та формуванню уламкового матеріалу.

Значення гідрогеологічних умов у селевому процесі таке: 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 підготовлюють і формують тверду складову селів. Крім того, на схилах потоки підземних вод створюють гідродинамічний

напір, який сприяє зрушенню уламкового матеріалу.

Наведене дає змогу подати табл. 1 розподілу факторів селесходження з їх групуванням. Як видно з таблиці, деякі фактори були описані в літературі раніше [Шеко, 1980], деякі – уперше введені. Самі по собі фактори можна розглядати з прогностичного погляду як якісні дані. Для реалізації алгоритму, наведеного вище, необхідно ввести їх кількісну міру. Поняття такої міри запропоноване нами і відображено в таблиці як факторна характеристика.

Апробація запропонованої методології просторового прогнозу

Для досліджень обрано ділянку на території Українських Карпат, що займає територію східної частини Закарпатської області площею 4179 км². Під час аналізування брали до уваги селі дощового і сніго-дощового генезису. Цей вид селів є домінуючим на території Карпатського регіону (99% випадків).

Таблиця 1

Класифікація факторів розвитку селів та факторних характеристик

Група факторів	Фактор	Кількісний показник фактора (факторна характеристика)
Просторові фактори (постійні)		
Геолого-тектонічні	Тектонічна зона	Коефіцієнт ураженості тектонічної зони
	Тектонічні порушення	Віддаль до тектонічного розлому
	Літофаціальний тип підстилаючих гірських порід	Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони
Інженерно-геологічні	Інженерно-геологічний район	Коефіцієнт ураженості в межах району
Геоморфологічні	Базис ерозії	Віддаль до базису ерозії
	Вододіл	Віддаль до вододілу
	Вододіл	Абсолютна висота вододілу
	Висота	Абсолютна відмітка над рівнем моря
	Крутизна схилу	Кут нахилу денної поверхні
	Рельєф	Енергія рельєфу
	Річковий басейн	Коефіцієнт ураженості басейну
	Сучасні геологічні процеси	Відстань до зсуву
Просторові фактори (повільнозмінні)		
Ландшафтні	Рослинність	Віддаль до межі лісу
Кліматичні	Опади	Середня річна кількість опадів
Техногенні	Наявність населених пунктів	Віддаль до населеного пункту
	Наявність шляхів	Віддаль до дороги, шосе
Часові фактори (швидкозмінні)		
Метеорологічні	Опади	Сумарна річна кількість опадів
	Температура повітря	Середньорічна температура повітря
Геліофізичні	Сонячна активність	Числа Вольфа
Сейсмічні	Землетруси	Сумарна річна енергія землетрусів
Гідрогеологічні	Ґрунтові води	Середньорічні значення рівня ґрунтових вод

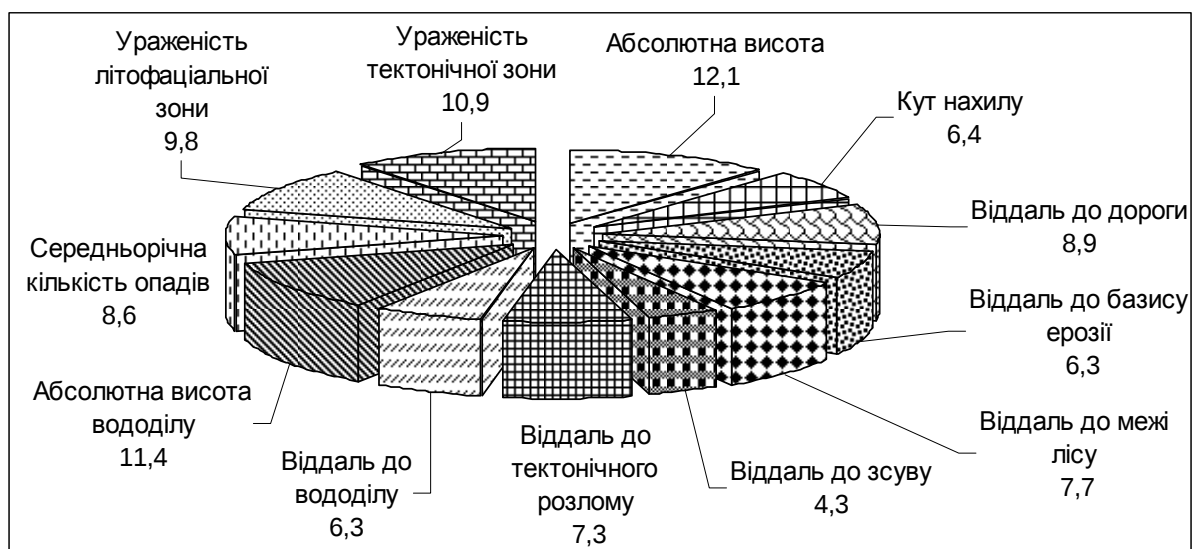


Рис. 2. Діаграма коефіцієнтів інформативності просторових факторних характеристик

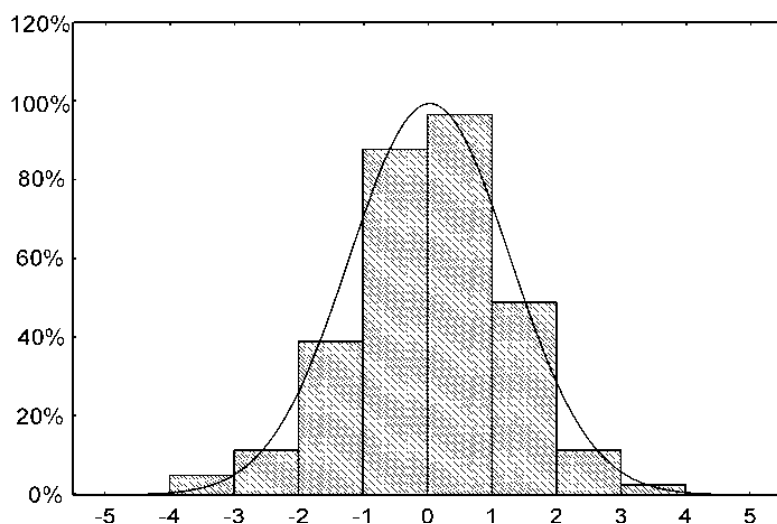


Рис. 3. Гістограма розподілу еталонного комплексного просторового показника

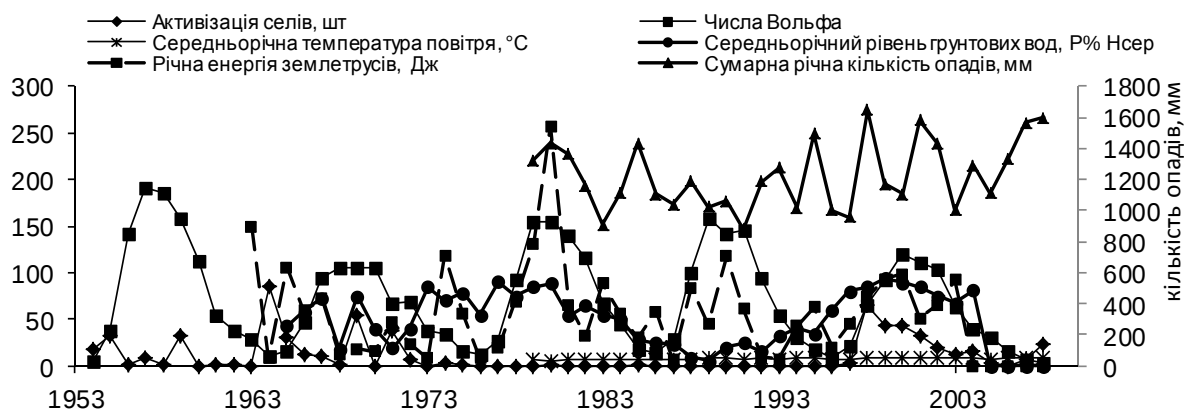


Рис. 4. Фактичні часові ряди

У якості базової ГІС для розробки системи прогнозування селенебезпеки було обрано повнофункціональну геоінформаційну систему MapInfo 10. Створено картографічну базу, яка містить картографічні шари осередків селесходжень та фактори, що впливають на регіональний розвиток селів у просторі, а саме: геологічні (приналежність до літофаціальних і тектонічних зон, наявність зсувів, тектонічних розломів), геоморфологічні (кут нахилу, абсолютна висота осередку селесходження і вододілу, відстань до вододілу, базису ерозії), техногенні (відстань до дороги, населеного пункту), кліматичні (середня річна температура повітря), ландшафтні (відстань до межі лісу). Для простеження існування закономірностей поширення осередків селесходження залежно від факторів, які в картографічному відображенні являють собою точкові, лінійні та площинні об'єкти, проведено просторовий аналіз із застосуванням картометричних оверлейних операцій. У результаті розраховані значення таких факторних характеристик: абсолютна висота, кут нахилу денної поверхні, абсолютна висота вододілу, середньорічна кількість опадів, відстані до дороги, до базису ерозії, до межі лісу, до межі населеного пункту, до найближчого зсуву, до тектонічного розлому, до вододілу. Пошук закономірного зв'язку між просторовим поширенням осередків селесходження і кожним із факторів виконано перевіркою відповідності розподілу значень факторних характеристик до теоретичних законів розподілу з застосуванням критерію Колмогорова-Смірнова.

Для кількісного врахування закономірностей поширення селевих осередків від факторів, що у картографічному відображенні являють собою площинні об'єкти (тектонічні і літофаціальні зони), в інтегральному показнику використано характеристику ураженості зон селевими водотоками розрахованої за формулою (1).

Для простеження відношення дисперсій значень факторів із метою відбракування дублюючих, проведено факторний аналіз з обертанням осей методом варімакс.

Факторний аналіз показав доцільність вилучення факторної характеристики «відстань до населеного пункту». Всі інші факторні характеристики залучаються до аналізу і вираховуються коефіцієнти інформативності для кожної з них. Розраховані коефіцієнти інформативності відмінні від нуля і не значно відрізняються за величиною, що вказує на те, що кожен із факторів впливає на селесходження і жоден не є домінантним (рис. 2). Тому всі відібрані фактори використовуються під час розрахунку просторового комплексного показника. Для наведення розподілів значень факторних ознак, відмінних від нормального, до максимально подібних до нормального теоретичного закону проведено процедуру логарифмування значень. Для проведення подальших статистичних операцій значення нормовано за

математичним очікуванням і середнім квадратичним відхиленням.

Далі за формулою (2) розраховується комплексний просторовий показник. Гістограма розподілу комплексного просторового показника наведена на рис. 3. Цей імовірнісний розподіл є еталонним.

Аналіз часових рядів селеактивності та часових факторів. Перелік задіяних часових факторів був наведений в табл. 1. Для аналізу обрані часові ряди таких факторних характеристик: сумарна річна кількість опадів, середньорічна температура повітря, середньорічне значення рівня ґрунтових вод, сумарна річна енергія землетрусів, числа Вольфа (рис. 4). Виконані такі процедури: нормалізація значень указаних характеристик, а також багаторічної селевої активності з метою трансформації величин у безрозмірні показники контрастності, побудовано автокорелограми по часових рядах факторних характеристик та активності селів. Аналіз побудованих автокореляційних функцій та періодогам дозволив визначити основні ритмічні складові в часових рядах, які наведено у табл. 2. Розрахована кроскореляція виявила потребу у відповідних зміщеннях таких рядів відносно ряду активності селів: ряди чисел Вольфа, середньорічної температури повітря, сумарної річної температури повітря на 1 рік назад; середньорічний рівень ґрунтових вод – на 2 роки вперед. Цей процес є необхідним, про що свідчить значне покращення кореляції кожного з факторів з сумарною річною активністю селів (табл. 3). У цій же таблиці зазначені вагові коефіцієнти факторів, тобто їх внесок у формування функції комплексного показника. Вагові коефіцієнти приблизно однакові за чисельними значеннями, що свідчить про відсутність домінуючого фактора, на який можна було би орієнтуватись, нехтуючи іншими, і як наслідок про необхідність урахування всіх обраних для розгляду часових факторів і правильний вибір їх характеристик.

Таблиця 2

Основні періоди коливань значень часових рядів факторів та селевої активності

Часові ряди	Період коливань, роки
Сумарна річна активність селів	5, 10, 21
Числа Вольфа	10-11, 21-22
Сумарна річна кількість опадів	3, 6, 21
Середньорічна температура повітря	10
Середньорічний рівень ґрунтових вод	21-24
Сумарна річна енергія землетрусів	8, 11-13, 21-22

Таблиця 3

Кореляція часового ряду активності селів із рядами факторних характеристик та вагові коефіцієнти

Факторні характеристики	Зміщення рядів, роки		Сумарна річна активність селів, коефіцієнт кореляції		Вагові коефіцієнти, %
	назад	уперед	до зміщення	після зміщення	
Числа Вольфа	1	-	0,39	0,44	18,0
Сумарна річна кількість опадів	-	-	0,38	0,39	21,2
Середньорічна температура повітря	1	-	0,30	0,50	17,7
Середньорічний рівень ґрунтових вод	-	2	0,22	0,25	23,3
Сумарна річна енергія землетрусів	1	-	0,11	0,33	19,8



Рис. 5. Графіки функцій комплексних часових показників

Комплексний часовий показник розраховано двома способами – без і з урахуванням ряду активності селів (рис. 5). Часові ряди розрахованих комплексних часових показників мають квазіперіодичність 10 років і високу кореляцію між собою. Указана періодичність відповідає періодичності багаторічної селевої активності на досліджуваній ділянці.

Узгодженість графіків рис. 5 дозволяє зробити важливий висновок. Не обов'язково заздалегідь мати картину ураженості в часі того чи іншого регіону селевими процесами для довгострокового прогнозування. Достатньо даних щодо часових факторів, а саме рядів їх характеристик, які є або у відкритому доступі, або можуть бути наданими спеціалізованими організаціями. Тобто питання успішного часового довгострокового прогнозування в будь-якому випадку вирішується, принаймні для регіонів, за геологічними умовами, наближеними до Карпатського.

Результати

Просторово-часове прогнозування селенебезпеки – створення прогностичної геоінформаційної моделі. Запропоновано три способи екстраполяції ряду комплексного часового показника: розкладом ряду за Фур'є і сумациєю основних гармонік; нейронними мережами і шляхом осереднення ряду інтегрального показника з урахуванням основного періоду селевої активізації (рис. 6). За прогнозними

рядами визначено наступний пік активізації селів у 2020 році з імовірністю 0,82.

Для створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки виконано наступні завдання.

Досліджувану територію поділено на квадрати 100×100 м. З вузлів квадратів створено новий картографічний шар, що містить 104 437 точки. Із застосуванням оверлейного аналізу зняті значення факторних характеристик в кожній точці сітки.

Оскільки результати досліджень, наведені вище, засвоїли наступний пік селевої активності у 2020 р. з високим значенням імовірності 0,82, прогноз виконано на цей рік. Розрахунок селенебезпеки в *i*-й точці виконується за формулою (9).

На основі створеної геоінформаційної моделі селенебезпеки побудовано прогностичні карти селенебезпеки у вигляді інтерполяційної карти і картограми по басейнах 3 і 4 порядків, у якій тематична змінна – середнє значення селенебезпеки по басейну (рис. 7).

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 і проведено порівняння спрогнозованої 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 відзначено у басейнах з низькою селенебезпекою. Потрібно відзначити, що у басейнах з нульовою селенебезпекою селесходжень не спостерігалось. Отже, запропонована прогностична модель є релевантна. 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 становить ± 35 м.

Наукова новизна і практична значущість

Наведено варіант вирішення актуальної наукової проблеми – регіонального просторово-часового прогнозування активізації селевих процесів.

При цьому:

– запропонований алгоритм просторово-часового прогнозування селевої небезпеки, що передбачає комплексний аналіз просторових і часових факторів розвитку селів із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій та створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки;

– виявлено закономірності розподілу осередків селесходження на території східної частини Закарпатської області залежно від комплексного впливу просторових факторів, що відображено в еталонному просторовому комплексному показнику;

– виявлено періодичність багаторічної селевої активності на території східної частини Закарпатської області залежно від комплексного впливу часових факторів, що відображено в часовому комплексному показнику;

– створена прогностична геоінформаційна модель просторово-часового прогнозування прояву селевих процесів.

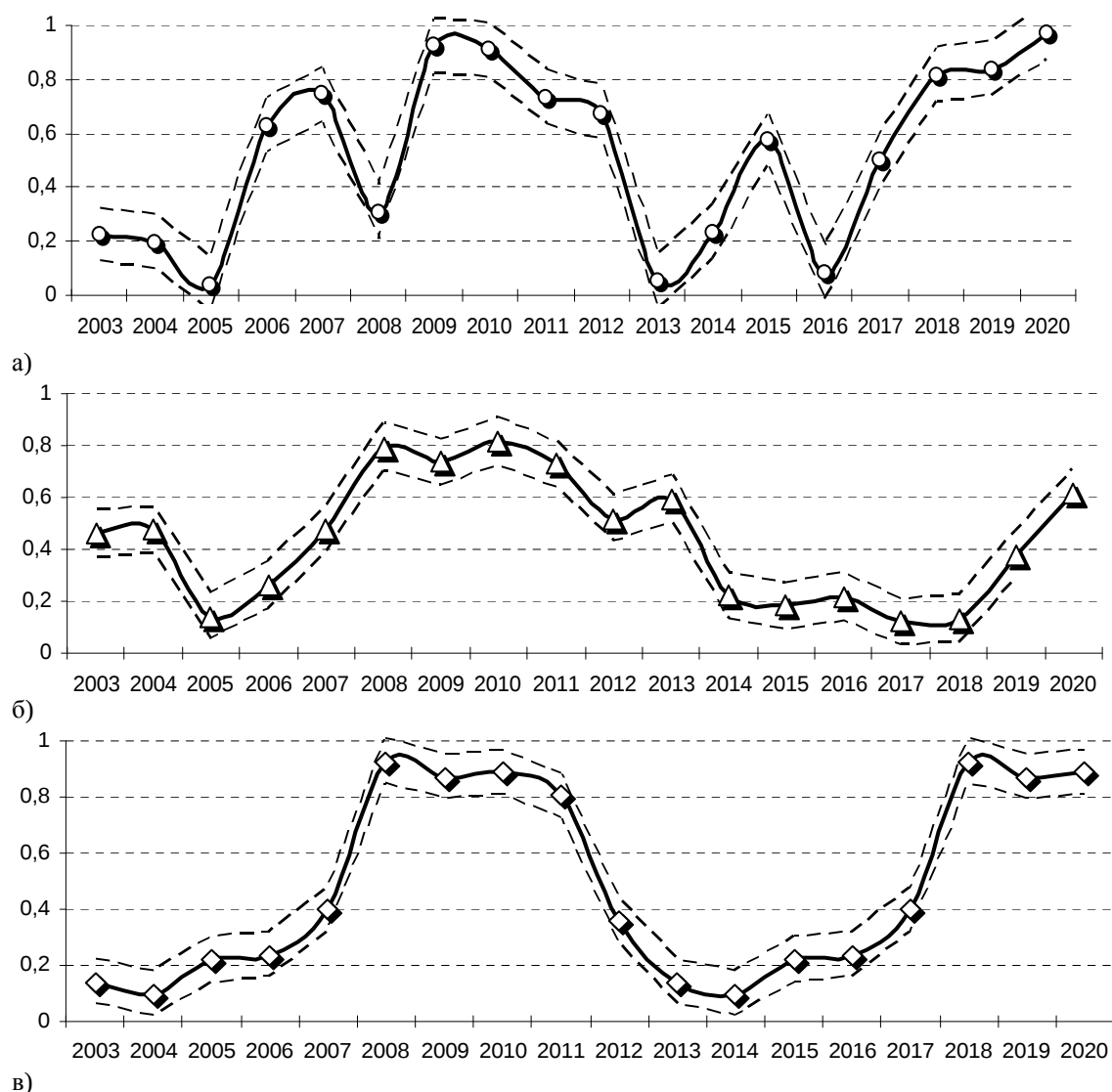


Рис. 6. Прогнозні часові ряди ймовірності селевої активізації, виконані за методами:

а – сумациєю основних гармонік, б – нейронними сітками, в – осередненням ряду

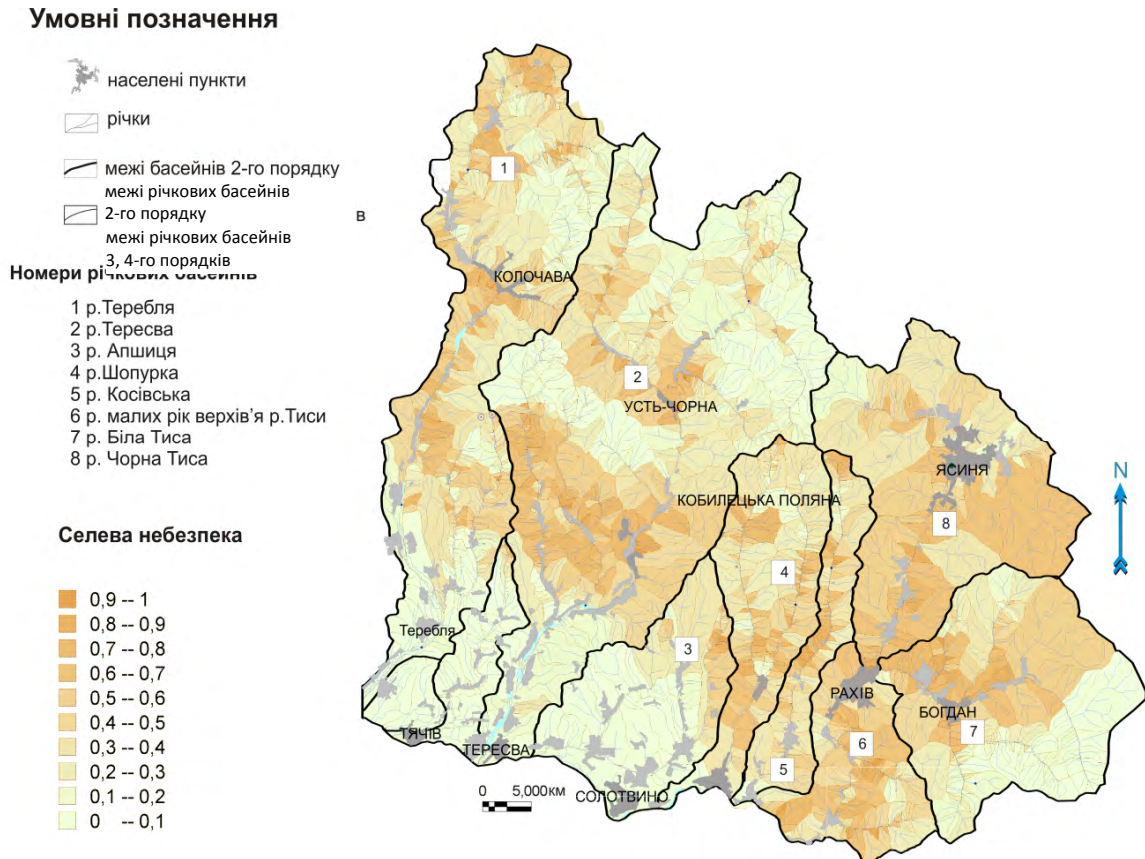


Рис. 7. Карта селевої небезпеки на 2020 р. (східна частина Закарпатської області)

Сконцентрована інформація може бути використана як науково-дослідними, так і проектними організаціями для наукової організації моніторингу і детальних досліджень із вивчення селевих процесів. Виявлені залежності розвитку селевих процесів і факторів впливу можна використовувати для побудови геоінформаційних моделей селенебезпеки для геолого-геоморфологічно споріднених територій, а у разі врахування зміни тренду гармонік часових факторів можлива побудова таких моделей на наступні періоди часу. Розроблена часова модель багаторічної активності селів дозволяє оцінити зміни багаторічного режиму селеактивності залежно від впливу факторів, що становить практичний інтерес для цілей довгострокового планування розвитку регіонів, а також може бути взяте до уваги під час проектування селезахисних споруд. Побудована прогнозна картографічна модель ймовірності селенебезпеки для частини території Карпатського регіону надає уявлення про можливе виникнення надзвичайних ситуацій на ділянках із високою ймовірністю селенебезпеки, а також дозволяє прогнозувати розвиток селевих процесів на тих ділянках, де не ведуться натурні спостереження за сходом селів.

Висновки

1. Автори розробили методологію регіонального просторово-часового прогнозування екзогенних геологічних процесів для застосування її під час прогнозування селевої небезпеки. В її основі –

розрахунок основних показників з урахуванням лінійності селевих явищ. Запропоновано таку послідовність досліджень: формування картографічної бази можливих факторів розвитку селів, обґрунтування та вибір релевантних факторів з використанням статистичного і просторового аналізів, розрахунок еталонного просторового комплексного показника, побудова часової моделі багаторічної селеактивності, створення прогностичної геоінформаційної картографічної моделі селенебезпеки.

2. Як просторові пропонуються такі групи факторів і відповідні факторні ознаки: 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). У якості часових – геліофізичні (числа Вольфа), сейсмічні (енергія землетрусів), метеорологічні (кількість опадів та температура повітря), гідрогеологічні (рівень ґрунтових вод).

3. Просторовий прогноз селенебезпеки здійснюється на основі виявленого закономірного зв'язку просторового розподілу осередків селесходження від дії просторових факторів. Часовий довгостроковий прогноз селевої активності ґрунтується на гіпотезі про закономірну повторю-

ваність природних процесів. У часових рядах факторних ознак виявлено таку квазіперіодичність: числа Вольфа – 10–11, 21–22; сумарна річна кількість опадів 3, 6, 21; 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.

4. Прогностична геоінформаційна модель селенебезпеки ґрунтується на розрахованих комплексних просторовому і часовому показниках. На її основі здійснено прогноз селенебезпеки для території східної частини Закарпатської області на 2020 рік, який встановлено як рік наступного піка селеактивності з імовірністю 0,82. Виявлено 24 селевих басейни 3 і 4 порядку з найвищою селенебезпечністю 0,8–1.

5. Наведена модель селенебезпеки для частини території Карпатського регіону становить практичний інтерес для регіональних установ влади і служб надзвичайних ситуацій. Виявлені залежності розвитку селевих процесів і факторів впливу можна використовувати для побудови геоінформаційних моделей селенебезпеки для геолого-геоморфологічно споріднених територій, а враховуючи зміну тренду гармонік часових факторів, можливо побудувати такі моделі на наступні періоди часу.

Література

- Адаменко О.М. Основы экологической геологии / О.М. Адаменко, Г.И. Рудько – К.: Манускрипт, 1995. – 348 с.
- Виноградов Ю.Б. Возможные пути прогноза гляциальных селей. Селевые потоки / Ю.Б. Виноградов // Гидрометеиздат. – 1976 – С. 122–138.
- Геодинамика Карпат / С.С. Круглов, С.Е. Смирнов, С.М. Спитковская и др. – К.: Наукова думка, 1985. – 136 с.
- 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.
- 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.
- Керемкулов В.А. Прогнозирование селей на трассе БАМ / В.А. Керемкулов, Т.Л. Киренская // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат. – 1984. – Сб.8. – С. 52–59.
- Кондратьева Н.В. Районирование территории Кабардино-балкарской Республики по селевой активности: автореф. дисс. канд. географ. наук / Н.В. Кондратьева – Нальчик: Высокогор. геофиз. ин-т, 2007. – 25 с.
- Красноок Л.М. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП / Л.М. Красноок, І.І. Драпівська, А.А. Сергієнко. – К.: ДНВП, 2011. – 88 с.
- Сейнова И.Б. Ледники и сели Приэльбрусья / И.Б. Сейнова, Е.А. Золотарев – М.: Научный мир, 2001. – 204 с.
- 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.
- Сидорова Л.В. О гидрологическом районировании и долгосрочном прогнозе стока весенне-летнего половодья рек Армении / Л.В. Сидорова, Э.В. Суханская // Тр. Закарп. – 1984. – Вып. 83(90). – С.124–130.
- 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.
- Тукеев О.В. Селевые явления Памира: Катастрофа, закономерности, прогноз / Тукеев О.В. – М.: Научный мир, 2002. – 176 с.
- Узагальнення матеріалів моніторингу екзогенних геологічних процесів по території України з використанням ГІС-технологій.: звіт про науково-дослідну роботу / [Л.М. Климчук, Л.М. Красноок, Е.Д. Кузьменко та ін.]. – К.: ДНВП “Геоінформ України”, 2009. – 262 с.
- Чепурна Т.Б. Регіональний просторово-часовий прогноз селевої небезпеки із застосуванням геоінформаційних технологій: дис. канд. геол. наук: 04.00.05 / Чепурна Тетяна Богданівна. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – К., 2011. – 174 с.
- Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей / А.И. Шеко. – М.: Недра, 1980. – 296 с.
- Berti M. Prognostication of debris flow inundation areas using empirical mobility relationships / M. Berti, A. Simoni // Geomorphology – vol. 90. – 2007. – P. 144–161.
- Chang Tung-Chiung. Application of back-propagation networks in debris flow prognostication / Tung-Chiung Chang, Ru-Jen Chao// Environmental Geology –2006 – Volume 85– P. 270–280.
- Chang Tung-Chiung. The application of genetic algorithm in debris flows prognostication / Tung-Chiung Chang, Yue-Hone Chien // Environmental Geology.– Volume 53 – Number 2. – 2007. – P. 339–347.
- 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.

Э.Д. КУЗЬМЕНКО, Т.Б. ЧЕПУРНА

Кафедра геотехногенной безопасности и геоинформатики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская 15, Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел. +38(0342)504761, ел. почта gbg@nung.edu.ua

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЛЕЙ В УКРАИНСКИХ КАРПАТАХ

Цель. Целью исследований является установление закономерностей развития селевых процессов в зависимости от действия иницирующих факторов и выполнения регионального пространственно-временного прогнозирования селеопасности с применением геоинформационных технологий. **Методика.** С применением геоинформационных технологий выбрано релевантный и репрезентативный комплекс значимых по характеру влияния факторов, которые предложено использовать при региональном прогнозировании селеопасности. В качестве пространственных факторов выбраны геологические, геоморфологические, техногенные, климатические, ландшафтные. Пространственный анализ осуществляется на основе выявления закономерной связи пространственных факторных признаков с пространственным распределением очагов селеосхождения. Временной долгосрочный прогноз селевой активности базируется на гипотезе о закономерной повторяемости природных процессов. В качестве временных избраны гелиофизические, сейсмические, метеорологические, гидрогеологические. Можно утверждать о наличии ритмичности как в ряде селевой активности, так и в группах факторов. На основании распределения факторов рассчитаны функции эталонного комплексного пространственного показателя вероятности распределения очагов селеосхождения и комплексного показателя временной многолетней селеактивности. **Результаты.** Конечным результатом исследований является создание прогностической геоинформационной модели селеопасности, которая строится на основе выявленных закономерностей пространственного и временного распространения селей с учетом суммарного комплексного воздействия факторов. **Научная новизна.** Рассмотрен вариант решения актуальной научной проблемы - регионального пространственно-временного прогноза активизации селевых процессов с представлением теоретического обоснования, алгоритма прогноза и результатов апробации для конкретной территории. **Практическая значимость.** Разработанная модель многолетней активности селей для участка территории Карпат позволяет дать оценку изменений многолетнего режима селеактивности в зависимости от влияния факторов, представляет практический интерес для целей долгосрочного планирования развития регионов, а также может быть принято во внимание при проектировании селезащитных сооружений. Обнаруженные зависимости развития селевых процессов и факторов воздействия могут использоваться для построения геоинформационных моделей селеопасности для геолого-геоморфологических подобных территорий, а при учете изменения тренда гармоник временных факторов возможно построение таких моделей на последующие периоды времени.

Ключевые слова: сели, селевая активность, селевая опасность, временные факторы, пространственные факторы, геоинформационная модель

E.D. KUZMENKO, T.B. CHEPURNA

Department "Geotekhnogenic safety and Geoinformatics ", Ivano- Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Carpathka street, Ivano -Frankivsk, Ukraine, 76019, tel. +38(0342)504761, e-mail gbg@nung.edu.ua

THE PROGNOSTICATION OF MUDFLOWS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Purpose. The aim of the research is to elucidate the regularity of the mudflow growth processes, depending on the factors that cause them and to the regional time-spatial prognostication of mudflow hazard using GIS. **Methods.** Using GIS technologies relevant and representative complex of significant factors due to the character of influence has been selected and suggested for usage in the regional prognostication of mudflows hazard. Geological, geomorphological, technological, climatic, landscape factors have been selected as spatial mudflow factors. Spatial analysis is based on detection of the regular connection of spatial factor characteristics with spatial distribution of mudflow centers. The time long-lasting prognostication of the mudflows activity is based on the hypothesis of the regular reiteration of natural processes. Heliophysical, seismic, meteorological, hydrogeological factors have been selected as time mudflow factors. The function of a complex index of long standing mudflow activity has been calculated. The presence of rhythm in range of mudflow activity and group of factors can be confirmed. Based on the factors distribution the function of a standard complex spatial index of the probability of the mudflow centers distribution and the function of a complex index of long standing mudflow activity have been calculated. **Results.** The final result of the research is to create prognostic geoinformatic model of mudflow hazard, which is based on the detected patterns of time- spatial distribution of mudflows taking in to account the total complex of influential factors. **Scientific novelty.** The example of solving the burning scientific issue - regional time-spatial prognostication activation of mudflow processes with representation of theoretical justification, prognostication algorithm and the results of testing in a particular area has been considered. **The practical significance.** The developed model of longstanding activity of mudflows for the Carpathians allows to evaluate changes in longstanding activity of mudflows based on impact factors has the practical value for the purposes of long term

planning of regional development, and should be taken into account while constructing mudflow protective complexes. The revealed dependence of mud processes and influential factors can be used to build GIS models of mudflow hazard for geological and geomorphological similar areas, in the case of taking changes of the trend to harmonics of time factors is possible to construct such models for perspective.

Key words: mudflows, mudflow activity, mudflows hazard, time factors, spatial factors, GIS model

REFERENCES

- Adamenko O.M., Rudko G.I. Osnovi ekologicheskoy geologii [Fundamentals of Environmental Geology], Kyiv, Manuscript, 1995, 348 p.
- Vinogradov Yu.B. Vozmozhnye puti prognoza glyacialnykh selei [Possible ways of glacial mudflows forecast], Selevyie potoki – Debris flows, Gidrometeoizdat, 1976, pp. 122–138.
- Kruglov S.S., Smirnov S.E., Spitkovskaya S.M. Geodinamika Karpat [Geodynamics of the Carpathians], Kyiv, Naukova dumka, 1985. 136 p.
- Zak A.I. Gidrologicheskie usloviya formirovaniya selevikh potokov na rekakh Armyanskoj SSR i metodika prognoza seleopasnykh periodov [Hydrological conditions of formation of debris flows in the rivers of the Armenian SSR and methodology of mudflow forecast periods], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974, 192 p.
- Zamaj V.I. Doslidzhennya prognoznoho fonu pavodkovoyi i selevoyi nebezpeki na osnovi danikh monitoringu nadzvichajnoyi podiyi [The study of predicted background flood and mudflow hazards based on monitoring emergency situation], Problemi avtomatiki i upravlinnya - Problems of Automation and Control, Bishkek: Ilim, 2008, pp. 97–103.
- Keremkulov V.A., Kirenskaya T.L. Prognozirovanie selej na trasse BAM [Prognostication of mudflows on the road BAM], Selevyie potoki – Debris flows, Moskva, Gidrometeoizdat, 1984, vol.8, pp. 52–59.
- Kondratieva N.V. Rajonirovanie territorii Kabardino-balkarskoj Respubliki po selevoj aktivnosti. Avtoref. diss. kand. geograf. nauk [Zoning of the Kabardino-Balkar Republic of mudflow activity. PhD. geogr. sci. syn. diss.], Nalchik, 2007, 25 p.
- Krasnook L.M., Drapikovska I.I., Sergiyenko A.A. Informacijnij shhorichnik shchodo aktivizaciyi nebezpechnikh ekzogennikh geologichnykh procesiv na teritoriyi Ukrayini za danimi monitoringu EGP [Yearbook Information to enhance the dangerous exogenous processes in the territory of Ukraine, monitoring of EGP], Kiyiv, DNVP, 2011, 88 p.
- Sejnova I.B., Zolotarev E.A. Ledniki i seli Prielbrusya [Glaciers and mudflows of Elbrus], Moskva, Nauchnij mir, 2001, 204 p.
- Sejnova I.B. Selevyie potoki na Centralnom Kavkaze [Mudflows in the Central Caucasus], Sklonovye processi (lavini i seli) - Slope processes (avalanches and mud flows), Moskva, Izd-vo MGU, 1980. – vol.4. – pp. 106–110.
- Sidorova L.V., E.V. Sukhanskaya O gidrologicheskom rajonirovanii i dolgosrochnom prognoze stoka vesenne-letnego polovodya rek Armenii [About hydrological zoning and long-term prognosis of flooding of spring-summer flood rivers in Armenia], Trudi ZakRNII – Works ZakRSRI, 1984, vol.83(90), pp. 124–130.
- Susidko M.M., Lukyanets O.I. Metodichni zasady imovirnisnogo prognozuvannya seliovikh yavishch v Ukrayinskikh Karpatakh [Methodological principles of probabilistic forecasting of mudflows in Ukrainian Carpathians], Nauk. pr. UkrNDGMI – Proc. UkrNDGMI, 1999, vol. 247, pp. 114–124.
- Tukeev O.V. Selevyie yavleniya Pamira: Katastrofa, zakonomernosti, prognoz [Mudflows of Pamir: Catastrophe, patterns, forecast], Moskva, Nauchnij mir, 2002, 176 p.
- L.M. Klimchuk, L. M. Krasnook, E.D. Kuz'menko ta in. Uzagalnennyya materialiv monitoringu ekzogennikh geologichnykh procesiv po teritoriyi Ukrayini z vikoristannjam GIS-tekhnologij. [Summary of results of the monitoring of exogenous processes on the territory of Ukraine using GIS technologies], Kyiv, DNVP «Geoinform Ukrayini», 2009, – 262 p.
- Chepurna T.B. Regionalnij prostorovo-chasovij prognoz selevoyi nebezpeki iz zastosuvannjam geoinformacijnikh tekhnologij. dis. kand. geol. nauk [Regional spatio-temporal prognostication of mudflow hazards using GIS technologies. PhD geol. sci. diss.], Kyiv, Kiyivskij nacionalnij universitet imeni Tarasa Shevchenka, 2011, 174 p.
- Sheko A.I. Zakonomernosti formirovaniya i prognoz selew [Regularities of formation and forecast of floods], Moskva, Nedra, 1980, 296 p.
- Berti M. Simoni A. Prognostication of debris flow inundation areas using empirical mobility relationships, *Geomorphology*, vol. 90, 2007, pp. 144–161.
- Chang Tung-Chiung, Chao Ru-Jen. Application of back-propagation networks in debris flow prognostication. *Environmental Geology*, 2006, Volume 85, pp. 270–280.
- Chang Tung-Chiung, Chien Yue-Hone. The application of genetic algorithm in debris flows prognostication. *Environmental Geology*, vol. 53, no. 2, 2007, pp. 339–347.
- Xu J. A study on the integrated regional meteorological forecast and warning model for geological hazards. International conference Selevyie potoky: katastrofy, rysk, prohnnoz, zashchyta, Piatigorsk, Russia, 22–29 september 2008, pp. 178–181.

Надійшла 24.05.2014 p.