

Екологічна безпека та раціональне природокористування

УДК 551-506.3+550.343

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ ФАКТОРІВ ПРИ СЕРЕДНЬО- ТА ДОВГОСТРОКОВОМУ ПРОГНОЗУВАННІ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

Е.Д. Кузьменко, Л.В. Штогрин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504576,
e-mail: gbg@nimg.edu.ua

Останніми роками посилилась активізація зсувів. Крім того, що на активізацію впливають геологічні, геоморфологічні, інженерно-геологічні, ландшафтні фактори, їх поява ще зумовлена "кліматичними аномаліями". У статті здійснена спроба пояснити взаємозалежність активізації зсувів з природними факторами. Зокрема, проаналізовані часові ряди сонячної активності (чисел Вольфа), сейсмічності регіону, атмосферних опадів і температури повітря для чотирьох метеостанцій Закарпаття за період 1965 по 2008 рр. по місяцям. Доведено, що зміни погодних умов мають циклічний характер. Виконано комплексне прогнозування екстремальних погодних умов помісячно на десятиріччя.

Ключові слова: активізація зсувів, часові ряди, сонячна активність, числа Вольфа, сейсмічність, землетруси, атмосферні опади, температура повітря, статистичний аналіз, прогнозування.

В последние годы усилилась активизация оползней. Кроме того, что на активизацию влияют геологические, геоморфологические, инженерно-геологические, ландшафтные факторы, её провоцируют еще и "климатические аномалии". В статье сделана попытка объяснить взаимозависимость активизации оползней с природными факторами. В частности, проанализированы временные ряды солнечной активности (чисел Вольфа), сейсмичности региона, атмосферных осадков и температуры воздуха для четырех метеостанций Закарпатья в период с 1965 по 2008 гг. по месяцам. Доказано, что изменения погодных условий носят циклический характер. Сделано комплексное прогнозирование экстремальных погодных условий по месяцам на десятилетия.

Ключевые слова: активизация оползней, временные ряды, солнечная активность, числа Вольфа, сейсмичность, землетрясения, атмосферные осадки, температура воздуха, статистический анализ, прогнозирование.

In the recent years, the activation of landslide is heightened. Besides the activation affect of geological, geomorphological, engineering-geological, terrain factors of their occurrence are due to "climatic anomalies". The intensification of interdependence with the natural factors of landslides is attempted to explain in the article. In particular, the time series of solar activity (Wolf numbers), seismic region, rainfall and temperature for four weather stations in Transcarpathia in the period 1965 to 2008 by month. The cyclical changing weather conditions in the nature are proved. The complex forecasting of extreme weather conditions, monthly for the decade is done.

Keywords: activation of landslide, time series, solar activity, Wolf numbers, seismic, rainfall, temperature, statistical analysis, forecasting.

Постановка проблеми і актуальність дослідження та зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Активність небезпечних екологічних процесів, зокрема зсувів, із року в рік зростає. Значний вплив на їхнє утворення має антропогенний фактор, але не можна відкидати комплексного впливу ме-

теофакторів. Як відомо, сильні і тривалі дощі, які спостерігались останніми роками в Західному регіоні України (липень 2008 р., червень-липень 2010 р.) зумовили високий дощовий паводок на річках, що прискорило масову активізацію зсувів, як нестабілізованих, так і стабілізованих. Відомо, щоб виникло катастрофічне

Таблиця 1 – Узгодження екстремальних значень чисел Вольфа з активізацією зсувів Закарпаття за період 1965-2008 рр.

Роки екстремальних значень чисел Вольфа	Тривалість періодів екстремальних значень чисел Вольфа*	Роки активізації зсувів	Прив'язка до екстремальних значень чисел Вольфа
1968 (максимум)	1967-1969	1970	2 р. після максимуму
1976 (мінімум)	1975-1977	1974	2 р. до мінімуму
1979 (максимум)	1979-1981	1980	1 р. після максимуму
2000 (максимум)	1999-2002	1999-2001	1 р. до і під час максимуму
2000 (максимум)	1999-2002	2003	3 р. після максимуму
2008 (мінімум)	2007-2009	2008	під час мінімуму

Примітка: Тривалість періодів екстремальних значень чисел Вольфа взято з сервера **National Geophysical Data Center**

природне явище, на нього відповідно повинні вплинути екстремальні значення природних факторів, порушуючи природну рівновагу.

У запропонованій статті розглядається дослідження впливу сонячної активності та метеорологічних параметрів, таких як атмосферні опади і температура повітря як чинників, що провокують екзогенні геологічні процеси, зокрема, виникнення зсувів у Закарпатському регіоні.

Необхідність аналізу та прогнозуванні аномальних значень метеофакторів є передумовою успішного передбачення ймовірних небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП).

Огляд останніх досліджень і публікацій.

Думка про те, що екзогенні геологічні процеси є ритмічними, висловлювалась в низці наукових праць. Зокрема в [1] сказано, що “закономірна повторюваність проявів зсувів через певні проміжки часу зумовлена дією певної сукупності природних та антропогенних факторів... Під ритмічністю розуміється відрізок часу між двома закономірно повторюваними екстремальними значеннями активізації зсувного процесу на досліджуваній території”. В роботі [2] наводиться часовий прогноз розвитку карсту на Передкарпатті. Накопичено чимало наукових праць про реальність впливу варіацій сонячної активності (СА) на відповідні зміни кліматичних факторів на Землі. Проте, беззаперечного доведення існування сонячно-кліматичного зв'язку ще не отримано, тому пошук шляхів розв'язання даної проблеми продовжується. У монографії [3] наводяться три причини недоведеності такого зв'язку: 1) кореляція між СА і кліматичними параметрами інколи порушується через декілька сонячних циклів; 2) не існує чітких фізичних пояснень причин зв'язку між СА і погодою на Землі; 3) СА може бути спусковим механізмом, що спричиняє зміну погоди на Землі. Але, не зважаючи на ці труднощі, багато дослідників довели існування впливу СА на метеорологічні параметри. Так, у тій же монографії проаналізовано роботи науковців, у яких 11-річний цикл пов'язувався з опадами, температурою повітря, атмосферним тиском, вітром, шляхами циклонів. Зазначено, що коре-

ляція між числом Вольфа (СА) і річною кількістю опадів може бути додатною, від'ємною або відсутньою взагалі. Це залежить від того, де зроблені метеорологічні виміри. Зокрема, для “середньоширотних метеостанцій (20-40°) мінімальна кількість опадів спостерігається в роки, які наближаються до максимумів СА”, тож логічно припустити, що для мінімумів СА будуть спостерігатись максимуми опадів. У роботі [4] відзначено, що “при зменшенні СА на спадаючій гілці циклу річна температура повітря підвищується”; “...у помірних широтах Північної півкулі від'ємна кореляція річної температури повітря з 11-річним циклом, при якій мінімуми температури приблизно відповідають максимумам СА і навпаки”, що чітко проявляється за даними метеостанцій Закарпаття. Про вплив СА на погоду на Землі вказано в роботі [5] - “сонячний потік випромінювання ініціює генерацію хмарних та аерозольних шарів в стратосфері та нижній атмосфері”, тобто формує погодно-кліматичні умови. Крім цього, у роботі [6] наголошується, що “зараз при прогностичних оцінках космічного впливу на земні катастрофи більшість дослідників, в основному, враховують тільки зміну сонячної активності, а саме її максимуми. Проте, як засвідчили дослідження, на активізацію катастроф впливає не тільки підвищення енергетичного навантаження, але і його зменшення. Також встановлено, що активізація катастроф починається за 2-3 роки до його максимуму та закінчується через 2 роки. Наступний період активізації починається біля мінімуму сонячної активності”. Таке спостереження підтверджується наявним рядом зсувної активності Закарпаття за період, що аналізувався (1965-2008 рр.) (табл. 1).

З таблиці видно, що періоди екстремальних значень СА тривають приблизно 2-3 роки та мають накопичувальний характер впливу протягом цих років на аномальні погодні умови, дія яких “реалізується через залежні чинники – поверхневий стік, витрати води в водотоках, вологість, міцність та деформаційні властивості гірських порід і, як наслідок, спостерігається різка реакція середовища розвитку ЕГП на аномальну кількість атмосферних опадів. Важливою особливістю взаємозв'язку ЕГП із

Таблиця 2 – Схема поділу території Закарпатської області на інженерно-геологічні області та райони [12]

Інженерно-геологічне районування							
Регіон	Область		Район		Метеостанція	Роки	Період
	№	Назва	№	Назва			
Закарпатський регіон	3-2	Верхньотисенська котловина	138	Верхньотисенська котловина	Хустська 164 м. н. р. м. 48°11' пн.ш. 23°17' сх.д.	1972 - 2008	37
	3-3	Закарпатська акумулятивна рівнина з ділянками древніх вулканів	139	Притисенська алювіальна рівнина-низовина	Ужгородська 120 м. н. р. м. 48°37' пн.ш. 22°17' сх.д.	1965 - 2008	44
					Береговська 115 м. н. р. м. 48°12' пн.ш. 22°38' сх.д.	1972 - 2008	37
Карпатський регіон	Ж-4	Середньовисотні Полонинсько-Чорногорські та Рахівсько-Чивчинські гірські хребти	132	Рахівсько-Чивчинський масив	Рахівська 430 м. н. р. м. 48°03' пн.ш. 24°12' сх.д.	1979 - 2008	30

режимом опадів є притаманність періоду активізації раптових зливових опадів після відносно безводного періоду. Переважно активізація настає з деяким запізненням (місяць і більше) і пов'язана з повільними і поступовими змінами вологості в межах всієї товщі зсувних відкладів. Багаторічний хід річної кількості опадів тісно пов'язаний з ритмікою коливань температури” [7].

Взаємозв'язок енергії землетрусів із СА для Карпатського регіону України досліджувався в роботі [8], де доведено, що сейсмічність є циклічною, а основний період коливань рядів кількості землетрусів та їх енергії збігається з 11 річним циклом сонячної активності. Зважаючи на те, що Закарпаття є одним з найбільш сейсмічно активних регіонів України [9-11], вивчення впливу енергії землетрусів на активізацію зсувів є доречним.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У літературі описані спроби довгострокового (десятьки років) та короткострокового (дні) прогнозу ЕГП. Для довгострокового прогнозу використовувались, в основному, параметри сонячної активності (тільки числа Вольфа), метеопараметри, сейсмічна активність. При цьому не проаналізовано зв'язок сонячної активності та внутрішньорічними аномаліями метеоумов, нема обґрунтування їх використання для конкретних територій. Середньостроковий прогноз (місячний) взагалі не виконувався (принаймні в літературі цих даних не наведено). Довгостроковий прогноз для зазначеної території виконувався на підставі використання часових рядів факторів станом на 2003 р. [1], тобто потребує корегування.

Формулювання завдання дослідження.

Завданням статті є представлення методики прогнозування зсувних процесів по роках, в т. ч. помісячно з використанням взаємозалежних факторів (опаді, температура), сонячної активності (числа Вольфа), сейсмічності з демонстрацією прогнозу на прикладі Закарпатського регіону. Припускаючи, що закономірності динаміки зазначених природних факторів не змінюються з часом, можна за цими даними оцінити ймовірність майбутніх зсувів.

Виклад основного матеріалу. Метеостанції, дані яких аналізувались, розташовані в двох інженерно-геологічних областях і трьох інженерно-геологічних районах (табл. 2).

З метою помісячно-річної демонстрації опадів на розгорнутій площині нами запропоновано зображення даних у вигляді карт графіків опадів.

Спочатку для кожної метеостанції будувались карти графіків екстремумів опадів (рис. 1). На цих картах сірим виділено “піки” більших за середнє значення екстремумів опадів, штриховкою – відповідно “піки” менших екстремумів. Як бачимо, у період квітень-серпень (інколи ще додавався вересень) чітко простежується квазі-синусоїдальне зміщення літніх періодів дощів (на рисунку ця залежність винесена жирною лінією). Подібні, але не повністю ідентичні літній, залежності спостерігаються для осінньо-зимового та зимово-весняного періодів (на рисунку вказані пунктиром). Часова “відстань” між трьома “піками” опадів є постійною та складає для більшості точок 3 місяці (рис. 1). Основною для аналізу обрано найбільш чітку криву для літнього періоду. При зміщенні метеостанцій на ПдСх помітно, що останні 20 років (1997-2008 рр.) характеризуються збільшенням

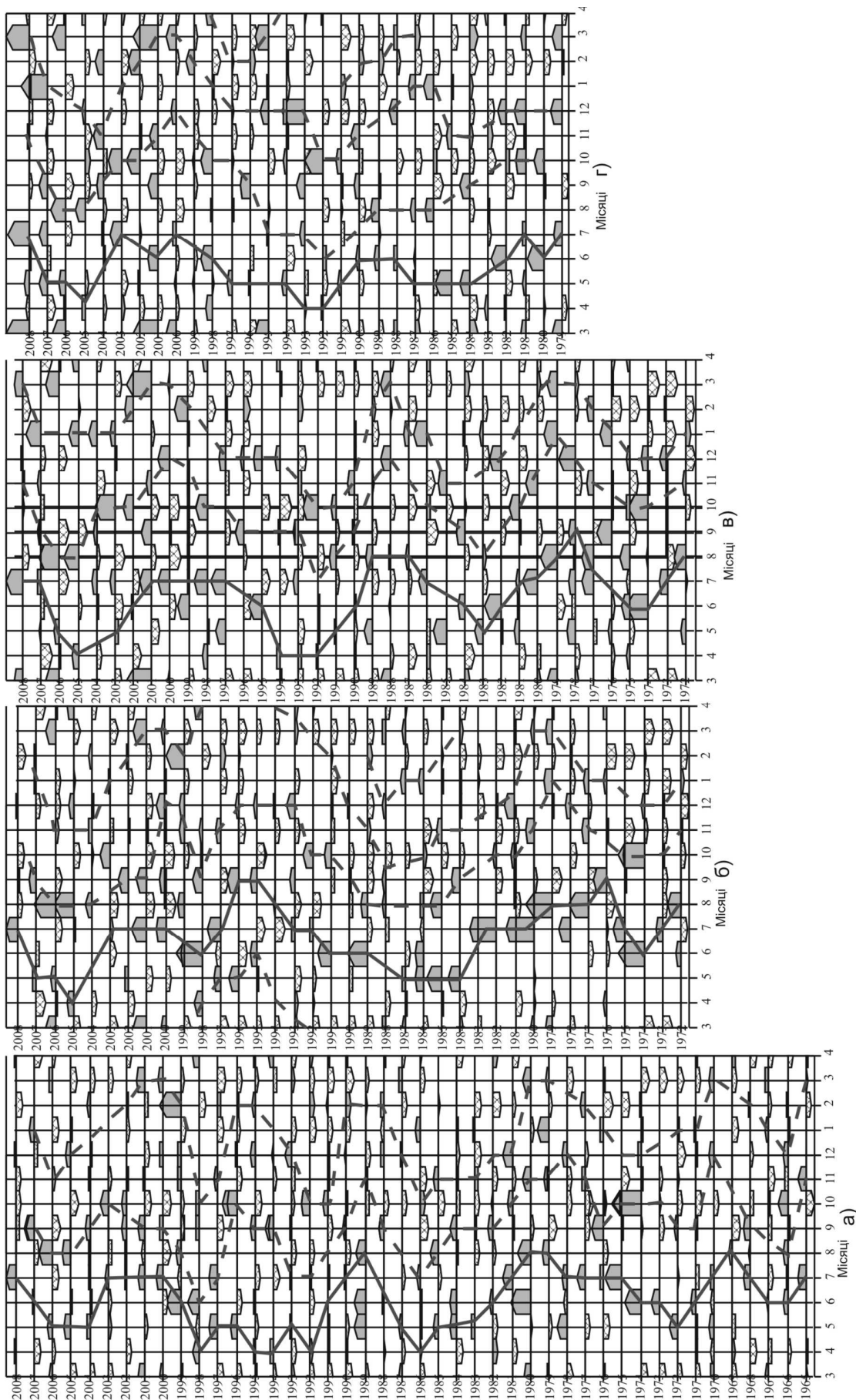


Рисунок 1 – Карти графіків екстремумів опадів за даними метеостанцій Закарпаття. Опали пронормовані відносно максимального значення а) Ужгород; б) Берегове; в) Хуст; г) Рахів

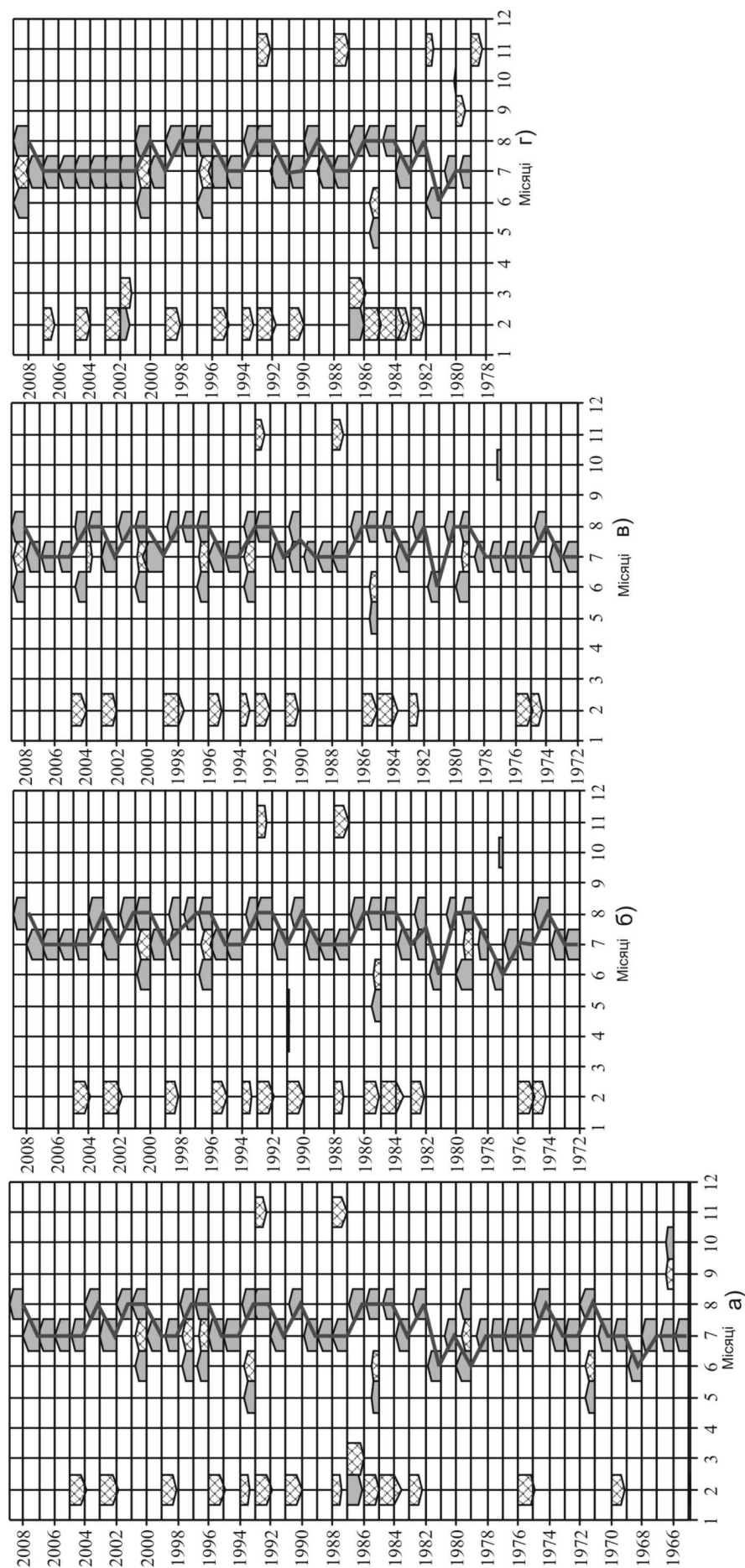


Рисунок 2 – Карти графіків екстремумів температури повітря за даними метеостанцій Закарпаття. Температура пронормована відносно максимального значення а) Ужгород; б) Берегове; в) Хуст; г) Рахів

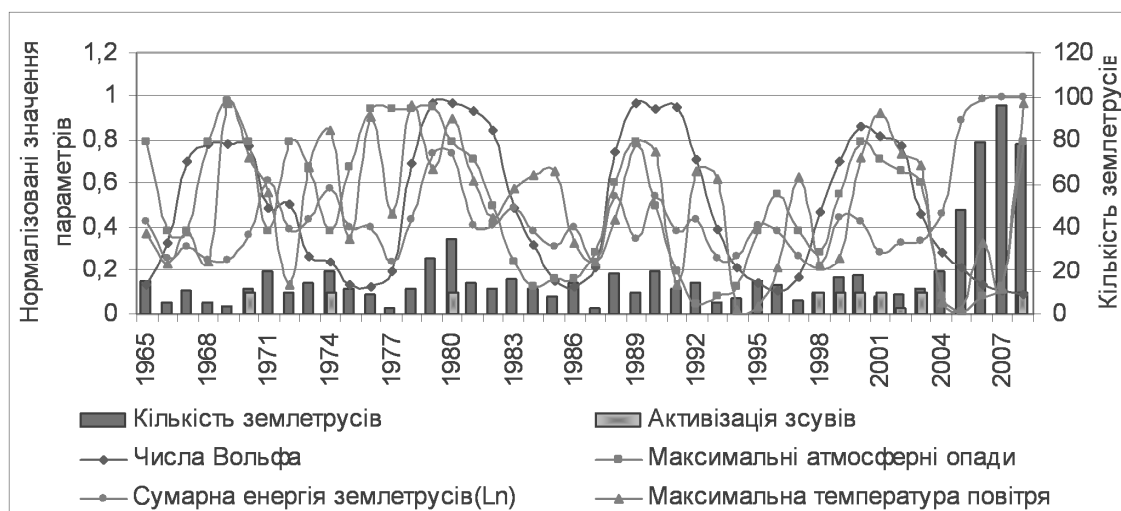


Рисунок 3 – Графіки нормалізованих вихідних параметрів

Таблиця 3 – Кореляційна матриця досліджуваних факторів для Закарпаття

	Сумарна енергія землетрусів(Ln)	Активізація зсувів	Числа Вольфа	Максимальні атмосферні опади	Максимальна температура повітря
Сумарна енергія землетрусів (Ln)	1	0.11	-0.14	-0.13	0.01
Активізація зсувів	0.11	1	0.18	0.23	0.33
Числа Вольфа	-0.14	0.18	1	0.37	0.34
Максимальні атмосферні опади	-0.13	0.23	0.37	1	0.52
Максимальна температура повітря	0.01	0.33	0.34	0.52	1

кількості опадів (підвищена кількість опадів повторюється 2-3 рази на рік).

Графіки максимальних температур чітко сезонні (липень – серпень) для всіх метеостанцій і наводяться на рис. 2. Тенденція ряду в досліджуваному періоді близька до лінійного розвитку. Амплітуда періодичних коливань практично незмінна і не залежить від рівня тренда, що свідчить про сезонність.

Для врахування впливу сейсмічності на активізацію зсувних процесів аналізувались ряди землетрусів Закарпатської області та прилеглих територій (Румунії, Угорщини, Словаччини), оскільки зсуви розташовані на близьких відстанях від епіцентральної зони Закарпаття та прилеглих територій. Досліджувались кількість та сумарна енергія 807 землетрусів за період 1965-2008 рр. з енергією $E \geq 10^6$ Дж, що відповідає енергетичному класу $K \geq 6$. Ці землетруси, залежно від глибини вогнища, могли проявитися в епіцентральної зоні з інтенсивністю струсувань $I_0 \geq 3$ бали за шкалою MSK-64.

Для представлення всіх задіяних факторів у безрозмірних одиницях виконувалась нормалізація

$$X_{ij}^{norm} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}, \quad (1)$$

де: X_{ij}^{norm} – нормалізоване значення j-го фактора в i-му році; X_{ij} – значення уніфікованої факторної характеристики для j-го фактора в i-му році; \bar{X}_j – оцінка математичного очікування в уніфікованій вибірці нормального розподілу для j-го фактора за всі роки спостережень; σ_j – середньоквадратичне відхилення для j-го фактора за всі роки спостережень.

Графіки нормалізованих факторів представлені на рис. 3.

Основою методичних відмінностей досліджень є алгоритм, запропонований у роботі [15]. Особливостями даної статті є новий підхід до використання фактичних даних, деталізація досліджень та розширення методів прогнозування.

Пошук різних періодичностей для атмосферних опадів, температури повітря, енергії землетрусів, сонячної активності та виявлення взаємозв'язку з активізацією зсувних процесів здійснювався за допомогою кореляційного аналізу (табл.3).

Проаналізувавши кореляційну матрицю бачимо, що активізація зсувів прямо корелює з усіма факторами, числа Вольфа обернено корелюють з енергією землетрусів, що є спільним також для Карпатського регіону [8].

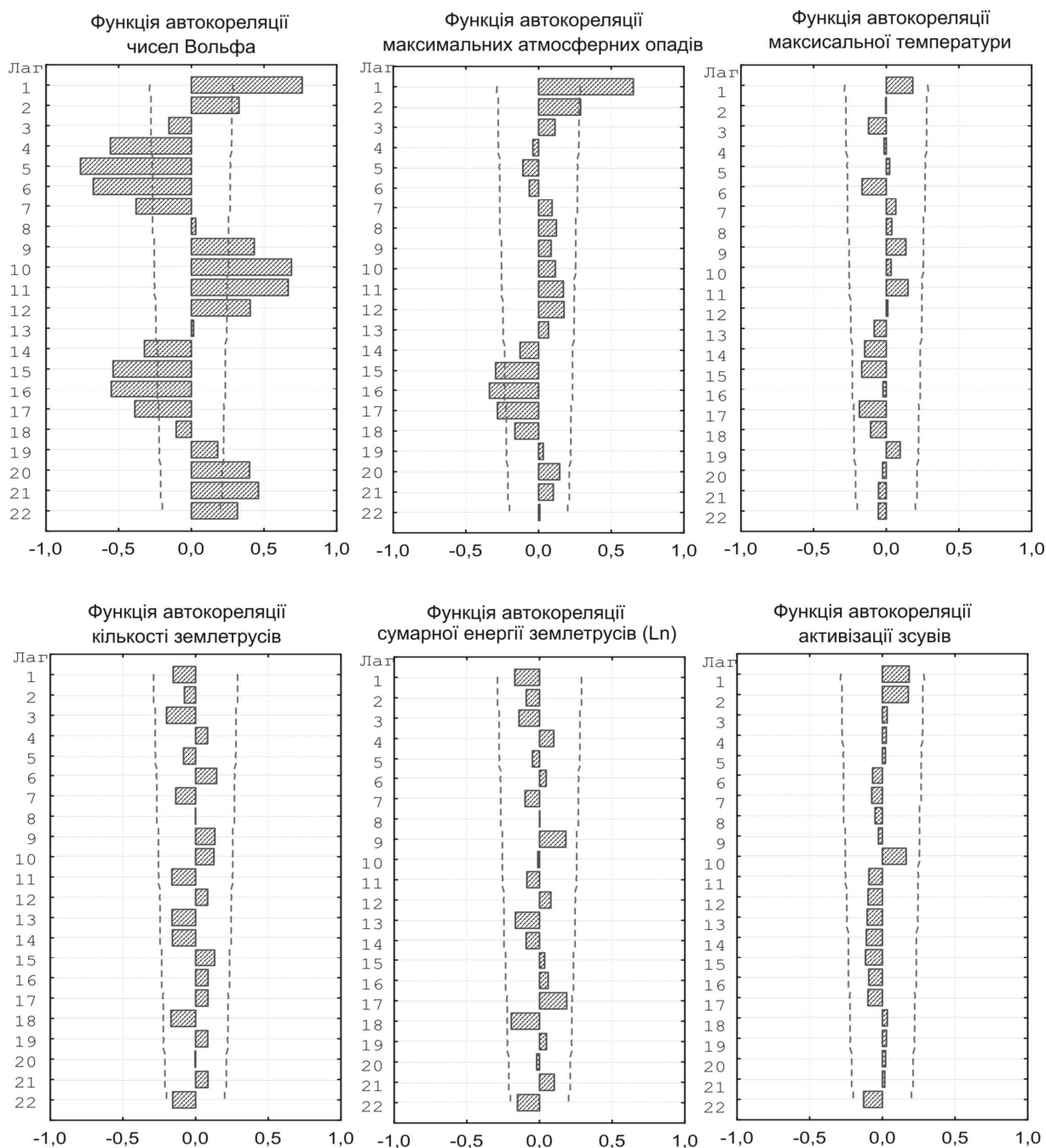


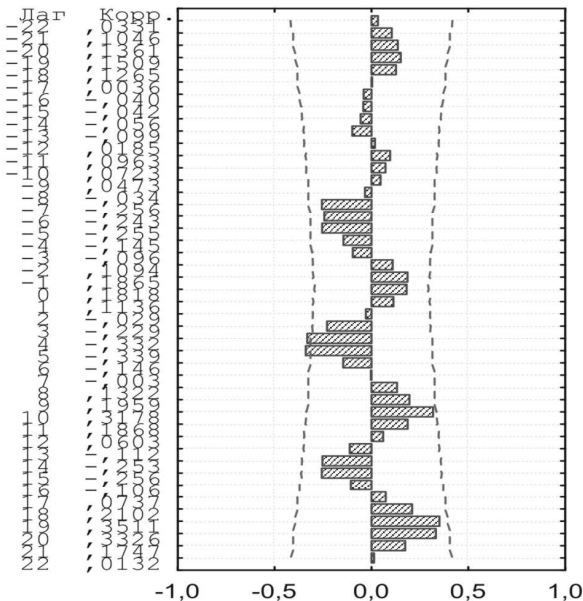
Рисунок 4 – Функції автокореляції параметрів, що аналізувалися (пунктирна лінія – довірчий інтервал)

Щоб переконатись у тому, що значення факторів є постійними для періоду, що аналізувався, виконувалась перевірка на наявність тренду. Тенденція до збільшення чи зменшення значень характеризується лінійним трендом. Для усунення тренду використовувалась процедура пошуку послідовних різниць між двома сусідніми значеннями спостережень. Такі різниці називаються першими $\Delta = (y_{t-1} - y_t)$. Вважається, що процедура знаходження перших різниць цілком достатня для видалення трендів і приведення більшості часових рядів до стаціонарного вигляду [14]. Далі знову розраховувались коефіцієнти кореляції, але вони не суттєво відрізнялись від попередніх. Факти-

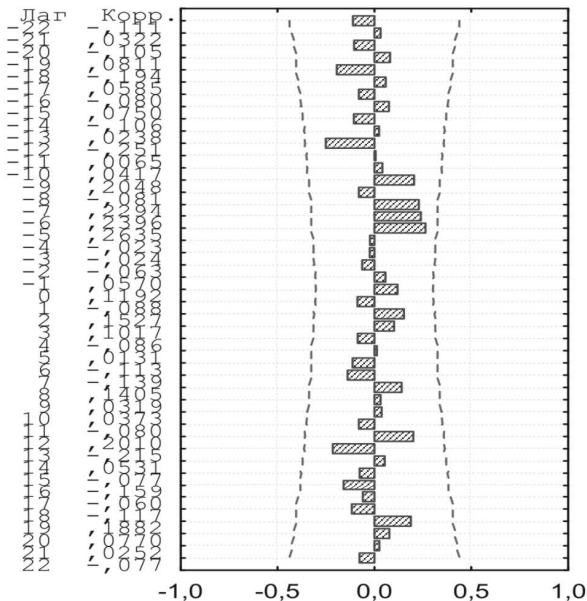
чно був врахований тренд для рядів сейсмічності.

Для виявлення часової періодичності в рядах даних виконувалась автокореляція [14]. На рис. 4 наведено графіки АКФ часових рядів, з яких видно, що періодичність сумарної енергії землетрусів(Ln) становить 4, 6, 9, 12, 15-17, 19, 21; активізації зсувів – 10, 18-21; чисел Вольфа - 9-12, 19-22; максимальних атмосферних опадів - 7-13, 20-22; максимальної температури повітря 8-12, 19 років. Як бачимо, усі фактори є квазіперіодичними. Періодичність 9-12, 19-21 років простежується для всіх параметрів і збігається з 11-річним сонячним циклом, а також з подвійним сонячним циклом Хейла [3]. Сумар-

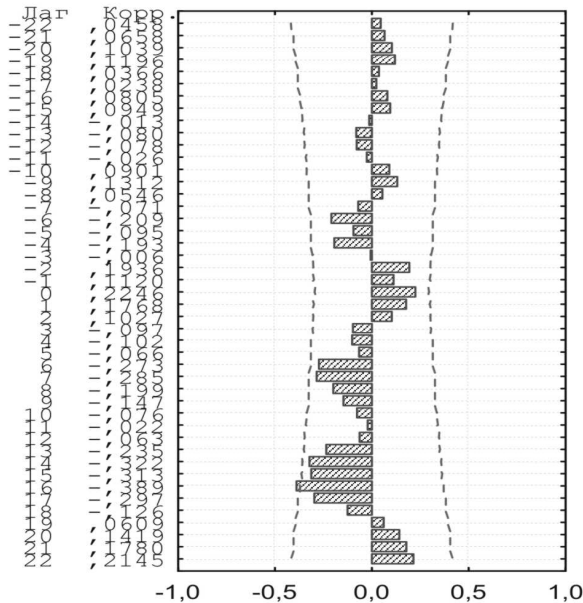
Функція взаємної кореляції активізації зсувів та чисел Вольфа



Функція взаємної кореляції активізації зсувів та сумарної енергії землетрусів (L_n)



Функція взаємної кореляції активізації зсувів та максимальних атмосферних опадів



Функція взаємної кореляції активізації зсувів та максимальної температури

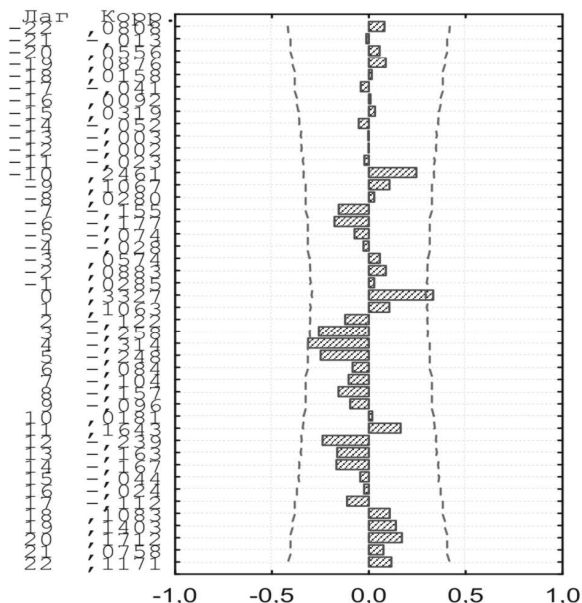


Рисунок 5 – Функції взаємної кореляції між активністю зсувів та параметрами, що аналізувалися (пунктирна лінія – довірчий інтервал)

на енергія землетрусів має більшу кількість ритмів, що, можливо, пояснюється постійним динамічним характером рухів земної кори.

Наступним етапом обробки статистичних даних часових рядів є процедура розрахунків функції взаємної кореляції, яка дала змогу оцінити ступінь парної кореляції між часовими рядами і визначити величину зміщення (лаг) для часової ув'язки чисел Вольфа та метеофакторів між собою. Результати розрахунків представлені на рис.5. Як видно, активізація зсувів без зміщення корелює з усіма параметрами.

Для розрахунку інтегральних показників залежності метеофакторів від ряду чисел Вольфа

та підтвердження правильності вибору факторів для кожної метеостанції були визначені коефіцієнти інформативності (значущості) кожного з чинників. Розрахункова формула – це відома формула для зведеного загального коефіцієнта кореляції:

$$Rnp_i = \frac{\sum_j |r_{i,j}|}{\sum_i \sum_j |r_{i,j}|} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де: $r_{i,j}$ – значення коефіцієнта парної кореляції між i, j змінними в таблиці матриці коефі-

цієнтів кореляції. У розрахунках приймають участь тільки абсолютні величини змінних для оцінки тісноти зв'язків [15]. Розрахунок інформативності кожного зазначеного фактора для Закарпатського регіону на основі парної кореляції наведено в таблиці 4. Як видно, внески факторів більш-менш рівнозначні, найменший внесок дає сейсмічність, що пояснюється слабковиявленою ритмічністю.

Таблиця 4 – Вагові коефіцієнти кожного параметра для розрахунку комплексного інтегрального показника

№ з/п	Фактор	Внесок, %
1	Ln (сумарної енергії землетрусів)	8.1
2	Активізація зсувів	17.9
3	Числа Вольфа	22.0
4	Максимальні атмосферні опади	26.4
5	Максимальна температура повітря	26.6

Після комплексного статистичного аналізу розраховувався інтегральний показник за формулою

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^m Rnp_i \cdot x_{ij}^{норм} \quad (3)$$

де m – число факторів. Загалом, j -му фактору привласнюється знак "+" за додатної кореляції з основним досліджуванним показником і "-" – при від'ємній кореляції.

Інтегральний показник, як комплексний параметр, використовувався для прогнозування в часі (по місяцях) можливих аномальних значень погоди для літнього періоду. Прогнозування виконувалось трьома способами – сумою основних гармонік ряду Фур'є, осередненням ряду за основною гармонікою та функцією predict інтегрованого математичного пакету MathCad (рис. 6).

Можливість представлення періодичних залежностей сукупністю їх синусоїдальних (гармонічних) складових забезпечується рядом Фур'є. Цей метод підходить для аналітичного вираження сезонних коливань, що мають синусоїдальну (квазісинусоїдальну форму) [14]. Розрахунок коефіцієнтів ряду Фур'є виконувався в пакеті Statistica. Прогнозування здійснювалась за сумою основних гармонік ряду Фур'є, які здійснили найбільший внесок у формування енергетичного спектру.

Функцію predict використовують при прогнозуванні даних, які змінюються з певною закономірністю. Принцип дії функції такий: по рівномірно розташованими точками розраховується деяке число наступних точок, тобто виконується екстраполяція довільної, але достатньо прогнозованої залежності.

Результати методів прогнозування добре збігаються з вихідним рядом, зберігаючи вказану тенденцію і в прогнозованому періоді, який

обирався величиною 1/3 від розміру вихідного ряду. Порівняння перших двох способів прогнозування схиляють до думки, що прогнозування за сумою основних гармонік Фур'є ряду інтегрального показника дає кращий результат при кореляції з вихідним рядом, хоча тенденція для прогнозного ряду зберігається і при способі осереднення ряду. Щоб визначити ступінь достовірності прогнозних періодів для метеостанцій, розраховувався коефіцієнт кореляції. Крива інтегрального показника корелює з коефіцієнтом 0.85 з рядом суми основних гармонік Фур'є, а з осередненим рядом за основною гармонікою коефіцієнт рівний 0.71. Різниця прогнозування першими двома способами становить 1 місяць. Коефіцієнт кореляції для функції predict рівний одиниці, бо прогнозний ряд додається до вихідного ряду інтегрального показника.

Спектральний аналіз та функція АВК інтегрального показника вказують на наявність основного періоду 9-11 років, також виділяються періоди 4.9, 6.3, 22 років (рис. 6).

Дана ритмічність кратна основним циклом сонячної активності. Враховуючи періоди кривої інтегрального показника з ймовірністю більше 0.65 слід очікувати продовження активізації зсувів, що відбулись у 2008, 2010 рр. по 2014 р. з деяким затиханням активності. При цьому найбільш ймовірним слід вважати липень місяць. Відтак очікуються декількарічне "зсувне затишшя". Подальший період масової активізації зсувів у Закарпатті - 2021-2023 рр. При цьому деяке підвищення активності слід очікувати вже в 2019 р.

Отримані дані дещо відрізняються від прогнозу, наведеного в роботі [16], в якій прогнозувалась активізація зсувів у 2017 – 2019 рр. Основні причини розбіжності прогнозу – це нарощування рядів спостережень та удосконалення методики досліджень.

Висновки і перспективи досліджень

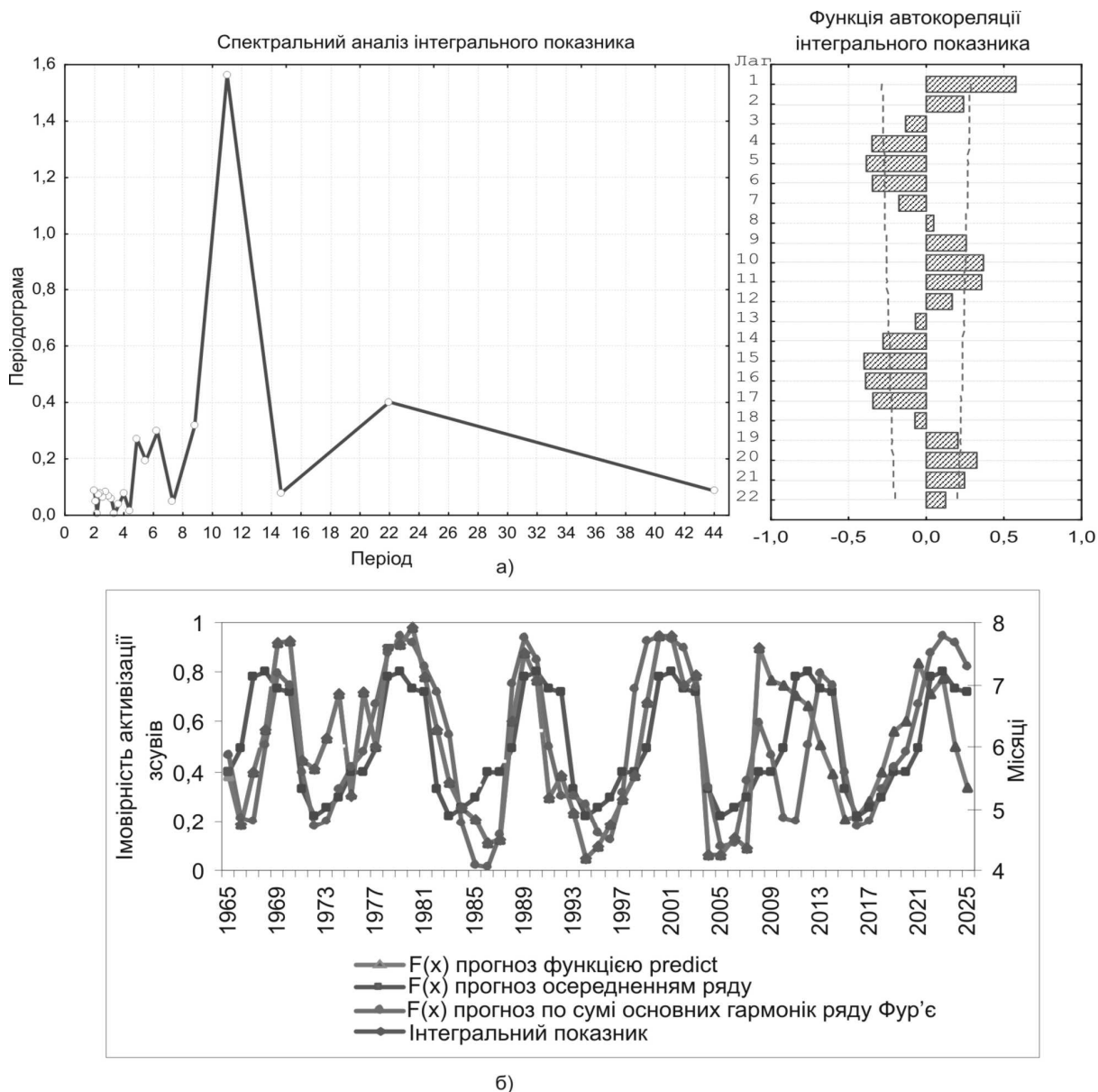
1. Процес довгострокової активізації зсувів є ритмічним, що уможливило його прогнозування.

2. Слід вважати, що комплексне використання характеристик сонячної активності, сейсмічної активності та метеофакторів при прогнозуванні зсувних процесів є обов'язковим.

3. Існує можливість середньострокового (місяцями в межах року) прогнозування зсувів завдяки ритмічності трьох піків опадів у межах року, поведінка яких щорічно наближається до синусоїди, що узгоджується з ритмами сонячної активності.

4. На основі отриманих даних слід вважати, що активізація починаючи з 2010 року буде затихати по 2014 рік, потім, після затишшя, чергова масова активізація припадатиме на 2021-2023 рр. Найбільш ймовірним місяцем слід вважати липень.

5. Порівняння отриманих результатів з роботами попередників вказує на необхідність щорічних переглядів висновків щодо термінів активізації та узгодження існуючих методів прогнозування.



а) спектральний аналіз та АКФ; б) прогнозна ймовірність активізації зсувів
Рисунок 6 – Інтегральний показник прогновної ймовірності активізації зсувів для Закарпаття

Література

1. Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе: 1. Пространственное распределение оползней. Ритмичность как теоретическая основа временного прогнозирования / [С.В. Гошовський, Э.Д. Кузьменко, П.В. Блинов та ін.] // Геоінформатика. – 2004. – № 2. – С. 40-49.

2. Кузьменко Е.Д. Довгостроковий часовий прогноз розвитку карсту на Передкарпатті / Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., Козак П.І. // Геоінформатика. – 2008. – № 3. – С. 78-85.

3. Герман Дж. Р. Солнце, погода и климат / Дж. Р. Герман, Р. А. Голдберг. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 319 с.

4. Харламова Н.Ф. Современные изменения климата внутриконтинентальных районов России / Наталья Харламова // Научный журнал "Известия АГУ". – 2006. – №3(41). – С.47-52.

5. Райченко Л.В. Воздействие солнечного корпускулярного излучения на атмосферу Земли: современное состояние проблемы / Леонид Райченко // Геофизический журнал. – 2010. – № 5. – С.82-101.

6. Байда С.Е. Прогностическая оценка безопасности жизнедеятельности в 2012 году/ Светлана Байда // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Е. : Екатеринбург. Ур И ГПС МЧС России, 2010. – С.13-23.

7. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / [Климчук Л.М., Блінов П.В., Величко В.Ф. та ін.] – К.: ВПЦ "Експрес", 2008. – 205 с.; з іл. та карто-схемами.

8. О цикличности карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью / [Э.Д. Кузьменко, Е.И. Крыжанивский, Р.С. Про-

нишин и др.] // Геофизический журнал. – 2007. – №4. – С. 56-66.

9. Костюк О. Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1091–1990 роки / [Костюк О., Сагалова Є., Руденська І. та ін.] // Праці НТШ. – Львів, 1997. – Т.1. – С. 121–137.

10. Сейсмологический бюллетень ЗТЗ ЕССН СССР. Крым-Карпаты за 1970–1989 гг. Киев: Наукова думка, 1980–1992.

11. Сейсмологический бюллетень Украины за 1991–2008 гг. – Киев: Наукова думка, 2008. – 178 с.

12. Зведений регіональний прогноз можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області протягом 1999–2010 рр.: Звіт про НДР / [Климчук Л.В., Красноок Л.М., Лескова Г.В. та ін.]. – Київ: ДПФ “Геоінформ”, 1999. – 38 с.

13. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 228 с.

14. Боровиков В.П. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере / Боровиков В.П., Ивченко Г.И. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 384 с.

15. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов: научное открытие / [Э.Д. Кузьменко, Е.И. Крыжановский, А.Н. Карпенко, А.М. Журавель]; Диплом №310. Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – Москва: МААНОИ, 2007. – С.64-65.

16. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійної експлуатації трубопроводів / Е.Д. Кузьменко, Є.І. Крижанівський, О.М. Карпенко, О.М. Журавель // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: держ. міжвід. наук.-техн. зб. / Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2005. – № 4(17). – С. 24-35.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
05.05.11*

*Рекомендована до друку професором
Я.О. Адаменком*