
ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 551(3.053)(583.13):528.88

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.10>

СПІВСТАВЛЕННЯ МЕТЕОКЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ З АКТИВІЗАЦІЄЮ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕЖАХ ІВАНО- ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Касіянчук Д.В., Штогрин Л.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ
dima_kasiyanchuk@ukr.net

У статті вивчено основні метеокліматичні показники Івано-Франківської області, які впливають на розвиток та активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів. Проаналізовано просторове та часове поширення активізації зсувів. Виконано оцінку відхилення від норми температури повітря, атмосферного тиску, вологості та опадів за 1981–2020 роки. Проведено кореляційний, кроскореляційний аналіз. На їх основі представлений спектральний аналіз у вигляді періодик зміни кліматичних умов та їх взаємозв'язку з зсувною активністю. Для аналізу були обрані основні метеостанції, а саме: Івано-Франківськ, Коломия, Яремче, Пожижевська. Статистичну обробку проводили в програмах STATISTICA та MS Excel. За основу статистичного аналізу було взято 40-річний період з 1981 по 2020 рік. Просторова вибірка даних – температура повітря, атмосферний тиск, опади та вологість була виконана за допомогою даних дистанційного зондування Землі (QGIS). У результаті побудовано графічні моделі відхилення від середньорічної норми 1981–1990 рр. основних метеорологічних показників; виділено основні групи факторів, які тісно пов'язані між собою, а тому можуть бути використані для подальшого аналізу; на основі кореляційного та крос-кореляційного аналізу доведено необхідність включення до моделей прогнозу зсувів таких груп метеорологічних показників, як вологість та атмосферний тиск; як визначальний фактор зміни клімату можна запропонувати часову динаміку здатності атмосфери відбивати тепло – Альbedo, що узгоджується з існуючим основним часовим елементом прогнозу зсувів – числом Вольфа – 10–12 років. Формування комплексного підходу до аналізу метеорологічних показників, використання параметра відбивної здатності Альbedo створює нові передумови для вдосконалення методології прогнозу, а саме того, як глобальні зміни клімату можуть вплинути на розвиток та активізацію зсувів у межах Івано-Франківської області та Прикарпаття в цілому. *Ключові слова:* метеокліматичні показники, зсуви, статистичний аналіз, геоінформаційний аналіз.

Correlation of weather and climate indicators with the activation of landslide processes within the boundaries of the Ivano-Frankivsk region. Kasiyanchuk D., Shtohryn L.

The article examines the main meteorological indicators that affect the development and activation of dangerous exogenous geological processes. In complex engineering and geological conditions, in areas of significant anthropogenic load, the reliability of the forecast of dangerous exogenous geological processes, such as landslides, is decisive for the assessment of risks from their negative effects. The main weather stations were selected for analysis, namely: Ivano-Frankivsk, Kolomyia, Yaremche, Pozhizhevska. Statistical analysis was performed in STATISTICA and MS Excel. The 40-year period from 1981 to 2020 was taken as the basis for the statistical analysis. Spatial sampling of data on air temperature, atmospheric pressure, precipitation, and humidity was performed using remote sensing of the earth (QGIS) data. As a result, graphic models of the deviation from the average annual norm of 1981–1990 of the main meteorological indicators were built; the main groups of factors are highlighted, which are closely related to each other, and therefore can be used for further analysis in time models; on the basis of correlation and cross-correlation analysis, it has been proven that such groups of meteorological indicators as humidity and atmospheric should be included in landslide forecast models; as a determining factor of climate change, it is possible to propose the time dynamics of the atmosphere's ability to reflect heat – Albedo, which is consistent with the existing main time element of landslide forecasting – the Wolff number – 10–12 years. The formation of a comprehensive approach to the analysis of meteorological indicators, the use of the Albedo reflectivity parameter, provides new prerequisites for improving the forecast methodology, namely how global climate changes can affect the development and activation of landslides within the borders of the Ivano-Frankivsk region and the Carpathian region as a whole. *Key words:* meteorological indicators, landslides, statistical analysis, geo-informational analysis.

Зростання середньострокової світової температури, фінансові та економічні збитки, загроза життю та здоров'ю людини від проявів небезпечних геологічних процесів змушує шукати нові способи упередження негативних наслідків. Важливим завданням, є не тільки дослідження часового циклу метеопараметрів, а й вивчення динаміки відхилення від норми того чи іншого

фактору. Усе це вимагає кращої деталізації досліджень змін клімату, особливо в регіонах, де геологічні умови сприяють цьому.

Беззаперечним фактом є зростання середньосвітової температури, як головного динамічного рушія зміни ландшафтів, особливо в зонах інтенсивного ведення господарської діяльності. Тому, важливим елементом якісного управління ймовірними нега-

тивними наслідками від активізації зсувів, є використання геоінформаційних систем.

Актуальність дослідження. Карпатський регіон є одним із найбільш складним з точки зору геології, клімату, гідрогеології частин України. Івано-Франківська область займає чи не основну роль у вивченні динаміки зсувних процесів, як одна із найбільш уражених (після Закарпатської) (рис. 1).

Досліджуючи зсувні процеси у вигляді просторово-часового прогнозу часто ігнорують вивчення динамічних змін головних метеокліматичних показників, залишаючи в аналізі кількість опадів і температуру повітря. Проте, такий підхід значно обмежує реальну зміну метеопараметрів, що можуть визначати циклічну складову часового прогнозу зсувонебезпеки.

У складних інженерно-геологічних умовах, районах значного антропогенного навантаження достовірність прогнозу небезпечних екзогенних геологічних процесів, як зсуви є визначальним про оцінці ризиків від їх негативної дії. Необхідність такого дослідження продиктовано значними руйнуваннями, які викликали зсуви в межах Івано-Франківської області, особливо в період їх попередньої активізації 2016–2018 рр. [1].

Виділення норми метеопоказників, розрахунок відхилення від їх середнього значення, дозволить оцінити загальну динаміку зміни клімату, як головного часового фактору при прогнозуванні зсувної активності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2, 3] автором зроблені висновки, що вибір

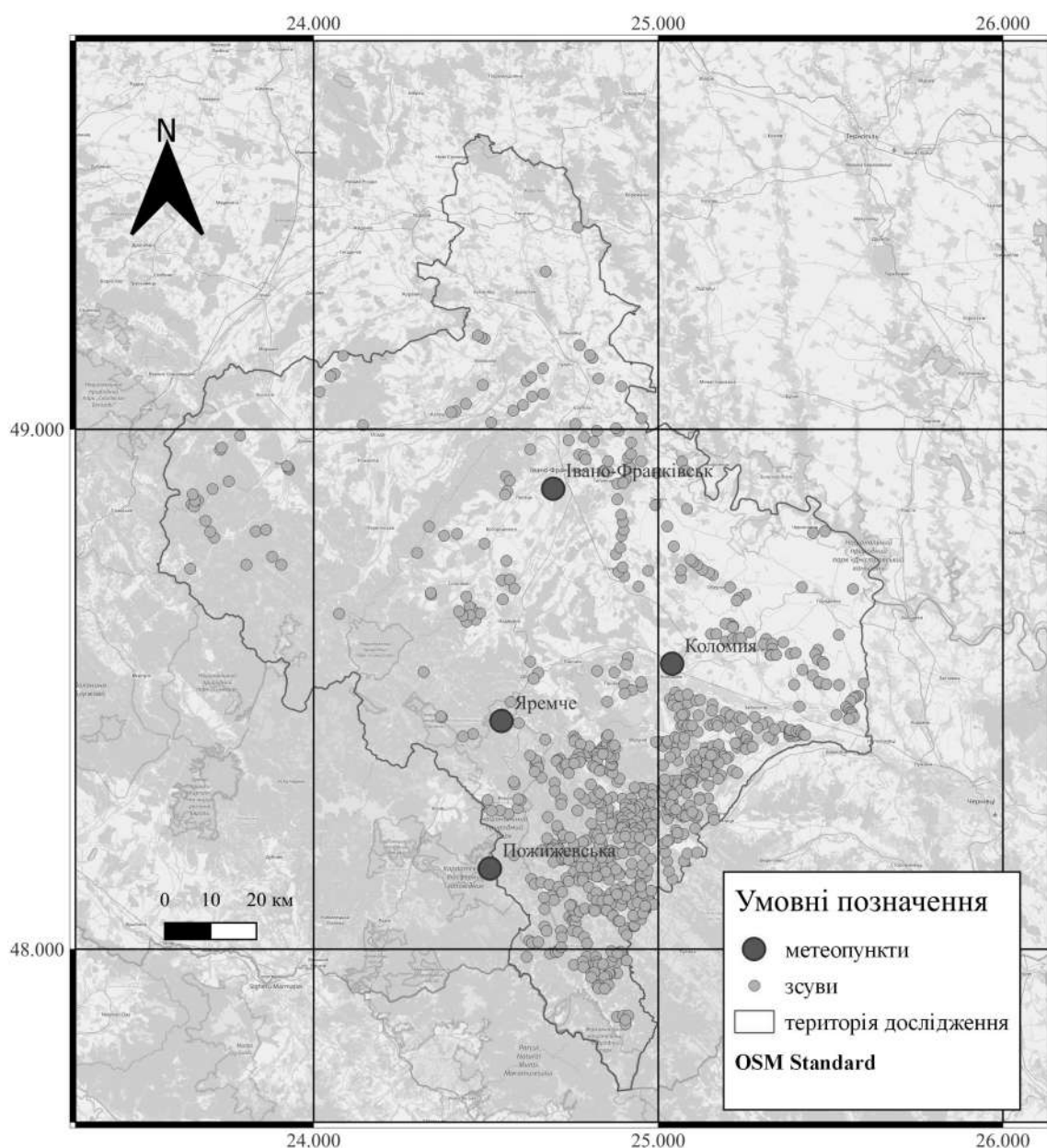


Рис. 1. Просторова ураженість зсувами у межах Івано-Франківської області

факторів для аналізу кліматичних показників не може обмежуватися самими значеннями температури; між температурою в межах Івано-Франківської області та середньосвітовою температурою є прямий зв'язок, а зміна середньорічної температури у межах області у 2,5 рази є вищою за світову; кореляційна матриця виділяє тісний прямий зв'язок між температурами у межах метеопункту та світовою, обернений між значенням температури та коефіцієнт відбивної здатності земної поверхні по всьому небу; усі характеристики температур є синфазними між собою та коефіцієнтом відбивної здатності; автокореляційні залежності групи Температура – Albedo можуть бути використані, як основа для моделі прогнозування температури та ЕГП.

Розглядаючи залежні від температури процеси, які потенційно мають відношення до стабільності схилів, зосереджуючись, зокрема, на глинистих схилах у помірних і теплих регіонах, автори [4] висловлюють гіпотезу, що температурні коливання та тенденції, викликані зміною клімату, можуть чинити, короткочасно чи довгостроково, гідромеханічний вплив на схили (змінюючи проникність, водоутримувальну здатність, щільність).

Авторами [5] зроблено висновок, що через зміну клімату схили, які можуть бути незначно стабільними за історичних та поточних подій з опадами, можуть не відповідати прогнозованим оцінкам опадів.

Система прогнозування зсувів у роботі [6] базується на використанні гідрологічної моделі Setemps у поєднанні з різними метеорологічними спостереженнями (мережа датчиків, метеорологічний радар або супутники) і прогнозами з моделей локальної території. Тоді небезпека зсувів надається на подинній основі для всього регіону, а також для вибраних територій ризику.

Застосування розрахункових порогів опадів до щоденних майбутніх прогнозів опадів виявило збільшення в наступні десятиліття опадів, які можуть активізувати зсув, і, отже, підкреслило вплив зміни клімату [7].

Авторами [8] для обґрунтування методології просторово-часового аналізу використані дані щодо

активності зсувів, активності сонячних плям (число Вольфа), рівнів ґрунтових вод, середньорічної температури, сейсмічної активності (загальна енергія, що виділяється під час землетрусів), середньорічної кількості опадів у межах окремого інженерно-геологічного району.

Матеріали та методи досліджень. Тенденція зміни навколишнього середовища, активізація та розвиток небезпечних геологічних процесів, зростаюче антропогенне навантаження вимагає пошуку нових підходів до часового аналізу метеокліматичних умов. Розуміння того, що такі зміни є надто динамічними (рис. 2), що показано в роботі [1, 2].

Ураховуючи нерівномірність режимних спостережень, одним із найефективніших методів збору інформації є використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Базою для проведення статистичного аналізу часових рядів є дані (<https://data.giss.nasa.gov/>, <https://www.astro.oma.be/>, <https://power.larc.nasa.gov/>).

Методика досліджень [2]: 1) формування бази даних метеокліматичних показників; 2) визначення основних статистичних характеристик ряду та його нормування; 3) вибір статистичних параметрів розрахунку та побудова автокореляційних залежностей, як основи для прогнозу.

Зростання середніх показників температури для метеопункту Яремче складає 1.5 °С, для Пожижевської – 1.6 °С, Коломий – 1.4 °С, Івано-Франківська – 1.4 °С. Визначено, що більш негативно зміна клімату впливає на високогірні зони, – зони розміщення метеопунктів Пожижевська та Яремче [2].

Статистичний аналіз та основні результати. Одним із базових параметрів при вивченні часових динамічних змін клімату є поняття «норми» [2]. Ця статистична характеристика є середньорічним багаторічним значенням, яке узагальнює метеокліматичний параметр і може бути визначеном як точка відхилення для майбутніх розрахункових періодів.

Для аналізу обрано основні метеопункти, а саме: Івано-Франківськ, Коломия, Яремче, Пожижевська. Просторове розташування представлено на рис. 1. Статистичний аналіз виконаний у програмі STATISTICA та MS Excel.



Рис. 2. Відхилення від норми середньомісячної температури

За основу, для статистичного аналізу, взято 40-річний період з 1981 по 2020 роки. З використанням даних ДЗЗ виконано просторову вибірку даних по температурі повітря, атмосферному тиску, опадів, вологості.

Дослідження норми метеопказників, є досить важливим, для загального розуміння, яким чином зміна одного параметру може викликати погіршення іншого. На рисунку 3 представлено графіки відхилення від норми метеоданих. Як онову від якої розраховане відхилення взята перша декада ряду.

У таблицях 1, 2 представлений комплексний аналіз, який демонструє зміну середньорічних значень показників метеопунктів Яремче, Пожижевська, Коломия, Івано-Франківськ. Важливим етапом дослідження є вивчення взаємозв'язку між факторами, що розглядаються.

Аналізуючи дані рисунку 3 слід відмітити стійку тенденцію до зростання середньорічної температури, особливо в 2011–2020 роках. Такі результати, абсолютно корелюють зі зростанням середньосвітової температури. Зміна клімату, головню через зростання середніх температур повітря, сприяє в подальшому незворотні зміни інших метеопказників.

Зокрема, чітко видно додатне відхилення від норми атмосферного тиску, що сприяє зменшенню кількості опадів. Простежується деяка закономірність, коли періоди великої активізації зсувів 1999–2001, 2016–2018 узгоджуються з даними опадів, атмосферного тиску, температури.

Як базовий фактор, що використовується при часовому прогнозі використані значення кількості сонячних плям (число Вольфа) [1], а також показника відбивної здатності земної поверхні (Albedo –

коефіцієнт відбивної здатності земної поверхні по всьому небу) [2].

На рисунку 4 представлений кроскореляційний аналіз між факторами Albedo та кількістю сонячних плям (число Вольфа).

Як видно з результату описової статистики (таблиця 1), значення вибірки чітко вписані в $\pm 3\sigma$ -межі (3Std.Dev), тобто абсолютна величина математичного очікування вибірки знаходиться в діапазоні потрошеного значення її середньоквадратичного відхилення, для нормально розподіленої вибірки. У даному випадку, розглядаються метеопказники, як природні процеси, що підпорядковані одно- або бімодальному нормальному закону розподілу при просторово-часовому аналізі зсувів [1].

Як відомо, кореляція Спірмена набагато краще оцінює наскільки добре можна описати відношення між двома змінними за допомогою монотонної функції. Кореляційна матриця, що представлена у таблиці 2, вказує на взаємозв'язок між обраними факторами. Температура повітря пов'язана із вологістю, вологість із опадами, атмосферний тиск в протифазі до опадів. Такі результати є абсолютно логічними, адже в першому випадку визначають рух антициклонів і циклонів, друга група суміжна за своїм змістом, третя характеризує зміну атмосферного тиску та ймовірності опадів.

Таким чином, можна говорити про формування трьох груп метеокліматичних показників, які найтісніше пов'язані між собою, а саме: температура – вологість; температура-вологість – опади; температура-вологість-опади – атмосферний тиск.

Автокореляційна функція між показниками Albedo та числом Вольфа, що представлена на рис. 4 демонструє чіткий зв'язок між ними. Спільні цикли

Таблиця 1

Описова статистика метеопказників (з виділенням меж достовірності вибірки)

Змінні	Описова статистика (Книга1)						
	Кількість значень	Середнє	Мін.	Макс.	Ст.відх.	Сер.- 3Ст. відх	Сер.+ 3Ст. відх
Вологість, г/кг	40	5,764	5,220	6,605	0,346	4,726	6,801
Температура, °C	40	6,650	4,928	8,320	0,881	4,006	9,293
Атмосферний тиск, кПа	40	94,270	94,066	94,373	0,059	94,092	94,448
Опади, мм/день	40	2,118	1,320	2,970	0,356	1,050	3,186

Таблиця 2

Кореляційний аналіз основних метеопказників (з виділенням значимих показників)

Змінні	Рангова кореляція Спірмена (Книга1) Відзначені кореляції значущі при $p < 0,05000$			
	Вологість, г/кг	Температура, °C	Атмосферний тиск, кПа	Опади, мм/день
Вологість, г/кг	1,00	0,51	-0,04	0,65
Температура, °C	0,51	1,00	0,06	0,01
Атмосферний тиск, кПа	-0,04	0,06	1,00	-0,24
Опади, мм/день	0,65	0,01	-0,24	1,00



Рис. 3. Середньорічні відхилення метеопказників від норми 1981–1990 рр.

для кожного параметру становлять 10–12 років, що власне узгоджується із періодами активізації зсувів у минулому.

Формування комплексного підходу до аналізу метеокліматичних показників, використання параметру відбивної здатності Albedo, дає нові передумови до удосконалення методики прогнозу, а саме яким чином глобальні зміни клімату можуть впливати на розви-

ток і активізації зсувів у межах Івано-Франківської області та Карпатського регіону в цілому.

Висновки. Виходячи із проведеного аналізу, можна підсумувати наступне:

– дістав подальшого розвитку аналіз основних метеокліматичних показників, які можуть бути використані при побудові просторово-часової моделі зсувної активності;

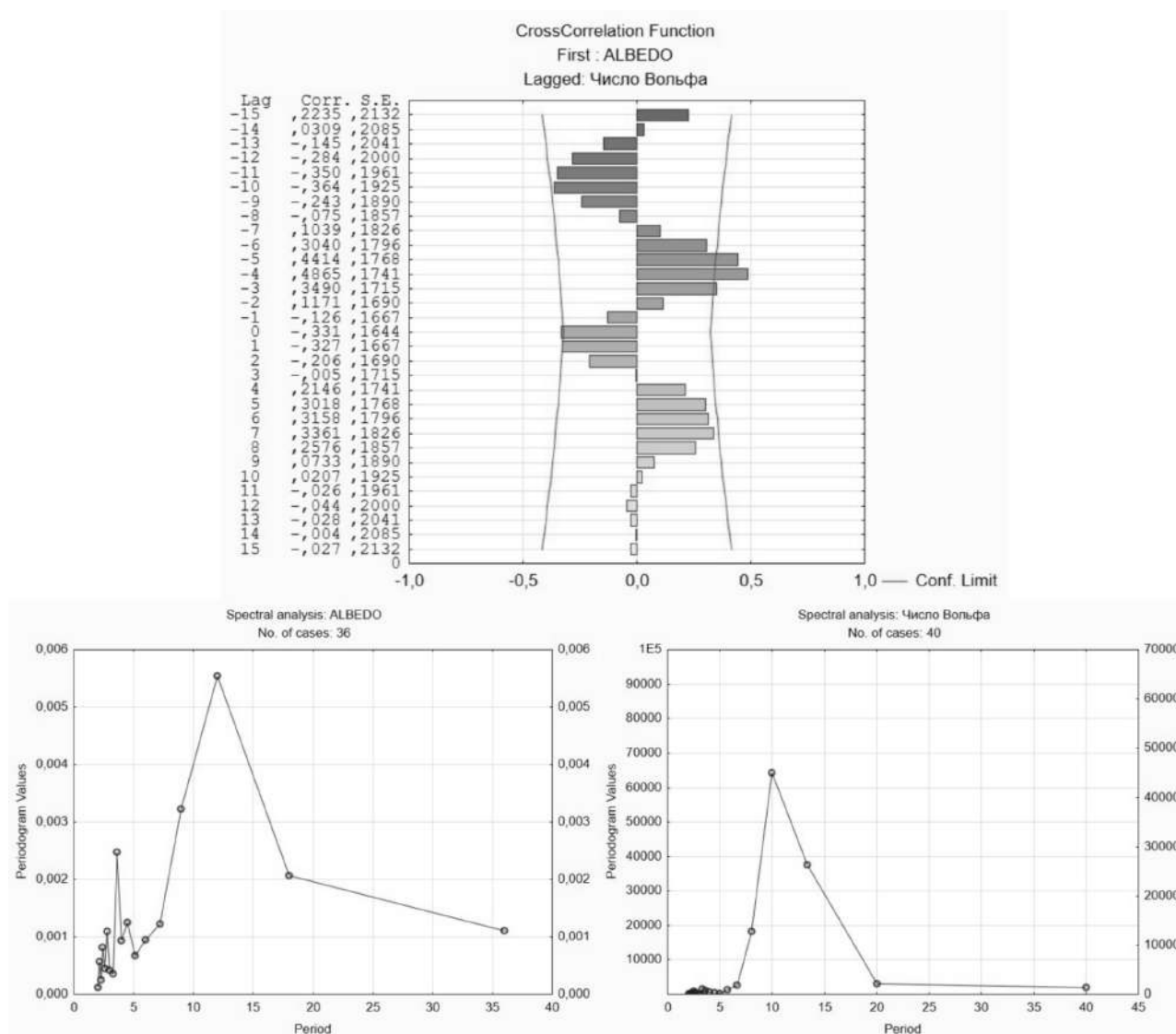


Рис. 4. Автокореляційний та спектральний аналіз

– виконано збір, систематизацію даних основних метеокліматичних показників, як температура, опади, атмосферний тиск, вологість за період з 1981 по 2020 роки;

– побудовано графічні моделі відхилення від середньорічної норми 1981–1990 років основних метеокліматичних показників;

– виділено основні групи факторів, які мають тісний взаємозв'язок між собою, а тому можуть бути використані для подальшого аналізу в часових моделях;

– на основі кореляційного та кроскореляційного аналізу доведено, що такі групи метеокліматичних показників як вологість, та атмосферний слід ввести в моделі прогнозу зсувів;

– як визначальним фактором змін клімату, можна запропонувати часову динаміку здатності атмосфери до відбивання тепла – Albedo, що узгоджується з існуючим головним часовим елементом прогнозування зсувів – числом Вольфа –10–12 років.

Література

1. Кузьменко Е. Д., Білінов П. В., Вдовина О. П. та ін. Прогнозування зсувів: монографія /за ред. Е. Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016, 601 с.
2. Касіянчук Д. В. Вивчення часових змін клімату у межах Карпатського регіону та їх взаємозв'язок з глобальними коливаннями температур. Екологічні науки: науково-практичний журнал, 2022. № 3(42). С. 131–135. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.21>
3. Касіянчук Д.В., Тимків М.М. До питання вивчення взаємозв'язку між активізацією зсувів, рівнями поверхневих вод і кліматом на території Івано-Франківської області// «Екологічна безпека Карпатського Євро регіону». Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (м. Ужгород, 13–15 травня 2020 р). УжНУ: «Говерла», 2020. С. 24.

4. Gianvito Scaringi, Marco Loche. A thermo-hydro-mechanical approach to soil slope stability under climate change. *Geomorphology*, 2022. Volume 401. 108108 p. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108108>.
5. Dhanai P., Singh V.P. & Soni P. Rainfall Triggered Slope Instability Analysis with Changing Climate. *Indian Geotech*, 2022. J 52. P. 477–492. <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00581-0>
6. Tomassetti B., Colaiuda V., Boscaino G., Tuccella P., Lidori R., Di Antonio L., Rossi F. L., Memmo A., Liberatore S., and Lombardi A: Hydro-geological risk prediction: the operational activity in Abruzzo Region for the rainfall-induced landslides forecasting., *17th Plinius Conference on Mediterranean Risks*, Frascati, Rome, Italy, 18–21 Oct 2022, Plinius17-61, <https://doi.org/10.5194/egusphere-plinius17-61>.
7. Nefros C., Tsagkas D.S., Kitsara G., Loupasakis C., Giannakopoulos C. Landslide Susceptibility Mapping under the Climate Change Impact in the Chania Regional Unit, West Crete, Greece. *Land*, 2023. 12, 154 p. <https://doi.org/10.3390/land12010154>
8. Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kuzmenko E. The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpatian region of Ukraine. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2020. Vol. 15. No. 1. P. 157–166. DOI: 10.26471/cjees/2020/015/118