

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ШТОГРИН ЛЮДМИЛА ВАСИЛІВНА**

УДК 550.347.2:504.4

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ГЕОФІЗИЧНІ ТА СУПУТНІ ЧИННИКИ**  
**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У**  
**КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ**

Спеціальність 04.00.22 – Геофізика  
Галузь знань 103 – Науки про Землю

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

*Штогрин Л.В. Штогрин*

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Кузьменко Едуард Дмитрович, доктор геолого-  
мінералогічних наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

*Зірширник дисертації  
ідентичний до інших  
примірників  
Вз. секретор спец.рози К 20.052.01*

*Шт. /ф.едорів В.В. / Івано-Франківськ – 2021*

## АНОТАЦІЯ

***Штогрин Л.В.* Просторово-часові геофізичні та супутні чинники прогнозування зсувних процесів у Карпатському регіоні України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – Геофізика. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2021. Спеціалізована вчена рада К 20.052.01.

Дисертаційна праця присвячена вирішенню актуальної задачі – часовому прогнозуванню зсувних процесів на регіональному рівні з метою оперативного реагування на ймовірну небезпеку зсувів та зменшенню ризиків від їх наслідків.

Враховуючи схему інженерно-геологічного районування України за геолого-геоморфологічними та структурно-тектонічними умовами досліджувались закономірності розповсюдження та розвитку зсувних процесів у Карпатському регіоні.

Відображення зсувів в аномаліях сили тяжіння та магнітного поля свідчить про доцільність застосування геофізичних методів для картування послаблених зон гірських порід: від’ємні гравітаційні аномалії оконтурюють осадові четвертинні відклади, високі градієнтні зони контролюють тектонічні порушення; інтенсивні аномалії магнітного поля Закарпатського внутрішнього прогину пояснюються впливом вулканічних порід високої намагніченості, а осадові та метаморфічні породи відображаються аномаліями різного знаку через невелику намагніченість та контрастність щільності порід. Оцінено кількісний зв'язок між зонами тектонічних порушень і зсувними процесами. Дане дослідження у майбутньому може застосовуватись під час просторового прогнозування розвитку зсувів на територіях зі спорідненими структурно-тектонічними умовами.

На основі ґрунтового статистичного аналізу та обробки багаторічних рядів спостережень активізації зсувів та просторово-часових геофізичних – сонячної активності, сумарної річної енергії землетрусів та супутніх чинників – рівнів ґрунтових вод, атмосферних опадів і температури повітря визначено основні періоди активізації зсувів та оцінено внесок кожного чинника в комплексний показник ймовірності розвитку зсувів.

Доведено можливість середньострокового прогнозування зсувів завдяки виявленій ритмічності опадів у межах року. Розроблені часові моделі (довгострокового та середньострокового) прогнозу зсувів дозволяють передбачати ймовірний розвиток зсувних процесів, враховуючи особливості окремих інженерно-геологічних регіонів.

Результати, що отримані під час досліджень можуть використовуватись для прогнозу небезпеки виникнення зсувів та завчасного попередження, при розробленні протизсувних заходів, прийнятті управлінських рішень, спрямованих на зменшення наслідків від стихійного лиха.

**Ключові слова:** геофізика, активізація зсувів, зсувонебезпека, інженерно-геологічне районування, тектонічна зона, розломи, літолого-фаціальний склад, геофізичні аномалії гравітаційних і магнітних полів, часові ряди, чинники, часовий прогноз, ризики.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Монографія (розділи в монографії):**

1. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: колективна монографія. За ред. проф. Е.Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 294 с. (Розділ 5: Комплексна інтегрована кількісна інтерпретація геолого-геофізичних даних. Автори: Кузьменко Е.Д., Вдовина О.П., Крив'юк І.В., **Штогрин Л.В.**); (Розділ 6: Апробація методики комплексних геолого-геофізичних досліджень зсувонебезпечних схилів. Автори: Кузьменко Е.Д., Вдовина О.П., Крив'юк І.В., **Штогрин Л.В.**).

2. Прогнозування зсувів: колективна монографія. За ред. проф. Е.Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 601с. (Розділ 6: Районування території Карпат за окремими чинниками зсувної небезпеки. Автори: Вдовина О.П., Карпенко О.М., Климчук Л.М., Красноок Л.М., Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., **Штогрин Л.В.**); (Розділ 10: Середньострокове прогнозування зсувів за опадами. Автори: Вдовина О.П., Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.**).

**Статті у закордонних та фахових виданнях України, які  
включені до міжнародних наукометричних баз:**

3. Кузьменко Е.Д., Блінов П.В., Климчук Л.М., Карпенко О.М., Петрик М.В., **Штогрин Л.В.** Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 1. С. 74-83.

4. Гошовский С.В., Кузьменко Э.Д., Блинов П.В., Карпенко А.Н., **Штогрин Л.В.** Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе: 1. Пространственное распределение оползней. Ритмичность как теоретическая основа временного прогнозирования. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 2. С. 40-49.

5. Гошовский С.В., Кузьменко Э.Д., Блинов П.В., Карпенко А.Н., **Штогрин Л.В.** Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе: 2. Временной прогноз. Обоснование периода последующей массовой активизации. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 3. С. 64-72.

6. **Штогрин Л.В.** Результати застосування методу порівняльної оцінки стійкості схилів у Закарпатському регіоні та визначення деяких прогнозних параметрів. *Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал*



*“Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2004. № 3 (12). С. 66-71.

7. Кузьменко Е.Д., Лящук Д.Н., Чебан В.Д., **Штогрин Л.В.** Обґрунтування вибору геофізичних, геологічних та геоморфологічних параметрів для оцінки зсувонебезпеки і методика їх комплексної інтерпретації. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: збірник наукових праць*. Київ, 2005. С. 333-349.

8. Кузьменко Е.Д., Журавель О.М., Чепурна Т.Б., Чепурний І.В., **Штогрин Л.В.** Прогнозування екзогенних геологічних процесів Частина 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. Закономірності активізації зсувів. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2011. № 3. С.61-74.

9. Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., Нікіташ О.О., **Штогрин Л.В.** Довгострокове прогнозування зсувних процесів на території Правобережжя Київського водосховища. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2012. № 1(12). С.93-102.

10. Кузьменко Е.Д., Крив’юк І.В., **Штогрин Л.В.** Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2013. № 1(14). С. 176–187.

11. Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.**, Чепурний І.В. Аналіз впливу геологічної будови гірських порід на характеристики зсувів. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2014. № 2(17). С. 112-124.

12. **Штогрин Л.В.**, Касіянчук Д.В. Про можливий зв'язок між періодичністю опадів, активізацією зсувів та фазами Місяця. *Науковий журнал “Збірник наукових праць УкрДГРІ”*, Київ: УкрДГРІ, 2015. № 4, С. 93-102.

13. L. Davybida, D. Kasiyanchuk, **L. Shtohryn**, E. Kuzmenko, M. Tymkiv. Hydrogeological Conditions and Natural Factors Forming the Regime of Groundwater Levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*. – Польща, Варшава, Issue 19(6), 2018.– pp. 34-44.

14. **Shtohryn L.**, Kasiyanchuk D., Kuzmenko E. The problem of long-term prediction of landslide processes with in the Transcarpatian inner depression of the Carpathian region of Ukraine. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2020, Vol. 15, No.1, p. 157 – 166.

**Інші публікації за темою дисертації у наукових фахових виданнях  
України:**

15. Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.** Про необхідність комплексного використання часових чинників при середньо- та довгостроковому прогнозуванні зсувних процесів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*, Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. №2(28). С. 63-73.

**Тези та матеріали наукових конференцій, які додатково  
відображають наукові результати і засвідчують апробацію дисертації:**

16. Кузьменко Е.Д., Карпенко О.М., **Штогрин Л.В.**, Петрик М.В. До питання короткострокового прогнозу зсувів в Закарпатті. *Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: тези доповідей науково-практичної конференції*. Київ: Знання, 2004. С. 84-86.

17. Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.**, Крив'юк І.В., Гончарук А.П., Скороход Г.А. Просторовий прогноз ймовірності зсувонебезпеки на окремих ділянках південного берега Криму. *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VI міжнародної наукової конференції*. Київ: Вид-во Київського національного університету, 2005. С. 105-106.

18. **Штогрин Л.В.** Порівняльна характеристика карпатських зсувів. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-*

*технології*: матеріали XVII міжнародного науково-технічного симпозіуму, Алушта, 10-15 вересня 2012 р. Львів: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2012. С. 95-101.

19. **Штогрин Л.В.** Застосування кластерного аналізу для оцінки просторового розподілу зсувів. Всеукраїнська науково-практична конференція “*Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам’яті П.Г.Черняги*”: збірник тез. Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2014. С. 218-219.

20. **Штогрин Л.В.,** Штогрин Т.М. Ураженість зсувами відповідно до тектонічного районування на прикладі Карпатського регіону. *Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики*: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2016. С. 314-317.

21. Kasiyanchuk, D., **Shtohryn, L.**, Yazlovetska, N., Levitska, M. Methodology of time forecast of exogenous geological processes Methodology of time forecast of exogenous geological processes. [Електронний ресурс]: *17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects*, 14-17 May 2018, Kyiv.

22. Kuzmenko E., Cherpurna T., **Shtohryn L.**, Cherpurnyi I., Matvii Ye\*. On the issue of predicting the activation of EGP in the Transcarpathian region. [Електронний ресурс]: *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 13-16 May 2019, Kyiv.

23. **Л. Штогрин.** Застосування статистичних методів для прогнозування зсувних процесів [Текст]. Міжнародна наукова інтернет-конференція “*Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення*”. Збірник тез доповідей: випуск 47 (м. Тернопіль, 8 квітня 2020 р.). Тернопіль. 2020. С. 57-58.

24. L. Davybida, D. Kasiyanchuk, **L. Shtohryn.** Spatial analysis of the relation between the distribution of dangerous exogenous geological processes and landscape hydrogeological complexes in Transcarpathian. [Електронний ресурс]:

Onlineaccess: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2020/spatial-analysis-relation-between-distribution-dangerous-exogenous-geological>, *GeoTerrace* – 2020, 07-09 December 2020, Lviv.

25. **Л.В. Штогрин**, Д. В. Касіянчук. Оцінювання екологічного ризику площинної ураженості зсувами в межах інженерно-геологічних регіонів. [Текст]. Міжнародна науково-технічна конференція онлайн “*Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази*”. Збірник тез доповідей: (м. Івано-Франківськ, 8-9 грудня 2020 р.). Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2020. С.166-167.

### ABSTRACT

***Shtohryn L. Spatio-temporal geophysical and related factors for landslide processes forecasting within the Carpathian region of Ukraine.***

Qualification scientific paper, manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Geological Sciences, specialty 04.00.22 – Geophysics. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2021. Specialized Academic Council K 20.052.01.

The dissertation is devoted to the solution of the problem of time forecasting of landslide processes. Regularities of distribution and development of landslide processes in the Carpathian region were studied, taking into account the scheme of engineering-geological zoning of Ukraine according to geological-geomorphological and structural-tectonic conditions.

The peculiarities of the reflection of the tectonic structure, zones of decompression, fragmentation of rocks and lithological composition in gravimagnetic fields on a regional scale are examined, and their association with landslide processes is evaluated for the first time. The connection between the impact of the fault zones on landslide processes can be used in the future for spatial forecasting of the development of landslides in territories with related structural-tectonic conditions.

Time forecasting of landslide hazard is performed on the basis of thorough statistical analysis and processing of long-term series of observations of landslide activation and spatio-temporal geophysical - solar activity, seismicity and related factors: groundwater levels, precipitation and air temperature. The main periods of landslide activation and the contribution of each time factor are identified and evaluated in a comprehensive indicator of the probability of landslides. Forecast weather models were built taking into account the differences of engineering and geological conditions for different regions.

The possibility of medium-term forecasting of landslides is proved due to the revealed rhythm of precipitation within a year. Time models (long-term and medium-term) of the landslide forecast have been developed and the assessment of the ecological risk of planar landslides within individual engineering-geological regions has been performed taking into account time series. This will increase environmental safety in the event of a possible intensification of landslides, by early warning and management decisions aimed at reducing the consequences of natural disasters.

**Keywords:** geophysics, activation of landslides, landslide hazard, local anomalies of gravitational and magnetic fields, tectonic faults, time series, factors, time forecast, risk.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	12
ВСТУП .....	13
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА	
ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ.....	21
1.1. Загальна характеристика зсувних процесів як явища .....	21
1.2. Вивчення зсувів геофізичними методами .....	25
1.3. Проблема прогнозування зсувів .....	29
РОЗДІЛ 2. УРАЖЕНІСТЬ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗСУВАМИ.	
ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ЗА ГЕОЛОГІЧНИМИ, ТЕКТОНІЧНИМИ ТА	
ГЕОМОРФОЛОГІЧНИМИ ЧИННИКАМИ .....	45
2.1. Ураженість території та наслідки.....	45
2.2. Градація ураженості зсувами відповідно до інженерно- геологічного районування .....	49
2.3. Результати застосування методу порівняльної оцінки стійкості схилів для прогнозування зсувів.....	63
2.4. Статистичний аналіз окремих характеристик зсувів.....	72
РОЗДІЛ 3. ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ	
У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ НА ЛОКАЛЬНОМУ ТА	
РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНЯХ .....	84
3.1. Застосуванням геофізичних методів для вивчення зсувів на локальному рівні .....	84
3.2. Відображення розвитку зсувних процесів у гравітаційному та магнітному полях .....	89
3.3. Приуроченість зсувних процесів до розломних зон.....	103
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ЧИННИКІВ	
АКТИВІЗАЦІЇ ЗСУВІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗНИХ	
ПАРАМЕТРІВ .....	109

4.1. Аналіз закономірностей розподілу часових чинників та їх зв'язок з активізацією зсувних процесів.....	109
4.2. Результати дослідження можливого зв'язку між періодичністю екстремальних опадів, активізацією зсувів та фазами Місяця .....	112
4.3. Аналіз деяких природних часових чинників інженерно-геологічних регіонів для довгострокового прогнозування зсувів .....	117
<b>РОЗДІЛ 5. ДОВГОСТРОКОВИЙ (БАГАТОРІЧНИЙ) ТА СЕРЕДНЬОСТРОКОВИЙ (ЗА МІСЯЦЯМИ В МЕЖАХ РОКУ) ЧАСОВИЙ ПРОГНОЗ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ .....</b>	
5.1. Довгострокове прогнозування зсувів для окремих інженерно-геологічних регіонів.....	129
5.2. Середньострокове прогнозування зсувів у межах року для окремих інженерно-геологічних регіонів .....	154
<b>РОЗДІЛ 6. ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ПЛОЩИННОЇ УРАЖЕНОСТІ ЗСУВАМИ В МЕЖАХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ РЕГІОНІВ З УРАХУВАННЯМ ЧАСОВИХ РЯДІВ .....</b>	
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>182</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>186</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>212</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕГП - екзогенний-геологічний процес

$N$  - загальна кількість зареєстрованих зсувів

$S$  - площа структурної одиниці, км<sup>2</sup>

$H$  - абсолютна відмітка зсуву

$\varphi$  - кут внутрішнього тертя ґрунту

$C$  - зчеплення ґрунту, кг/м<sup>2</sup>

$\gamma$  - об'ємна вага, г/см<sup>3</sup>

$h$  - потужність зсувних порід, м

$l$  - довжина зсуву, м

$b$  - ширина зсуву, м

$\beta$  - кут нахилу схилу відносно горизонту, градуси

$\alpha$  - рівень довіри для статистичного закону розподілу;

$x_i(\text{норм.})$  - нормалізоване значення параметра

$x_i$  - значення параметра в точці спостереження

$\bar{X}$  - середньоарифметичне значення параметра

$\sigma_x$  - середньоквадратичне відхилення параметра

АКФ - автокореляційна функція

$Lg\Sigma E$  - сумарна сейсмічна енергія землетрусів (логарифми)

ФВК - функція взаємної кореляції



## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Серед небезпечних геологічних процесів, які мають катастрофічні наслідки, екзогенні геологічні процеси посідають значне місце. До таких процесів відносяться зсуви, селі, карстові прояви, абразія, ерозія, підтоплення та ін.

Основними документами, що свідчать про розподіл зазначених процесів та їх наслідки, є Інформаційні щорічники щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП. Згідно останнього щорічника на початок 2020 року в Україні налічується 22937 зсувів, площею 2140.9 км<sup>2</sup>. Однією з найбільш небезпечних є територія Карпатського регіону, особливо Закарпатська область, де зареєстровано 3288 одиниць, площею 385.21 км<sup>2</sup> та Чернівецька область – 1467 одиниць, площею 760.2 км<sup>2</sup>, з них 2517 зсувів зафіксовано на забудованій території, що створює екологічну небезпеку для життєдіяльності людини. Загалом, площа охоплена зсувними процесами в зазначених областях, становить 53.5 % від загальної площі зсувів в Україні [1].

На державному рівні розробляються закони та інформаційно-аналітичні системи для запобігання та зменшення впливу негативних наслідків від поширення екзогенних геологічних процесів, зокрема зсувів. На сьогодні діє закон України “Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р.” від 21 квітня 2011 р. № 3268-VI [2], в якому серед інших завдань виділено важливість “оцінки еколого-геологічних умов і можливості виникнення надзвичайних ситуацій природного походження в межах конкретної території та прогнозу цих явищ на майбутнє; визначення особливостей розвитку і прогнозу небезпечних ендегенних і екзогенних геологічних процесів і явищ”. На даний час Державне науково-виробниче підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України” (ДНВП “Геоінформ України”) виконує державну

систему моніторингу довкілля в складі Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій (УІАС НС) та використовує автоматизовану інформаційну систему “Екзогенні геологічні процеси” для оброблення інформації, аналізу стану екзогенних геологічних процесів та підготовки інформації щодо можливості виникнення надзвичайних ситуацій, пов’язаних з екзогенними геологічними процесами. За підсумками виконаних робіт створюються Інформаційні щорічники щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП.

Значні опади, повені та зсуви 2020 року підкреслюють актуальність досліджень у зазначеному напрямку.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Завдання дисертаційної роботи вирішувалися в межах кафедральної науково-дослідної роботи кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) за темами: “Екологічна безпека і землевпорядне забезпечення територіально-адміністративних одиниць та експлуатаційна надійність промислових об’єктів», (реєстр. № 0110U000339; 2014 р.), “Інженерно-екологічні, геотехногенні, геодезичні та землевпорядні роботи, спрямовані на дотримання екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності”, (реєстр. № 0114U004856, 2015 р.), “Дослідження геологічного середовища в зонах розвитку небезпечних процесів із використанням геоінформаційних технологій з метою попередження надзвичайних ситуацій” (держ. реєстр. №0119U002233, 2018 р.). У рамках зазначених тем автором проводився аналіз основних часових чинників розвитку зсувних процесів, а також виконано середньострокове та довгострокове прогнозування активізації зсувів для окремих територій Карпатського регіону.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є довгострокове та середньострокове прогнозування активізації зсувних процесів на основі

просторово-часових геофізичних та супутніх чинників розвитку зсувних процесів з урахуванням інженерно-геологічного районування Карпатського регіону.

Поставлена мета передбачала розв'язання таких завдань:

- вивчення параметрів зсувів та особливостей їхнього просторового поширення згідно інженерно-геологічного та тектонічного районування та обґрунтування просторово-часових геофізичних та супутніх чинників активізації зсувів;
- аналіз відображення просторового поширення зсувних процесів у гравітаційному та магнітному полях регіонального масштабу, враховуючи тектонічне районування досліджуваної території;
- дослідження взаємозв'язків просторово-часових геофізичних та супутніх чинників розвитку зсувів та обґрунтування часового прогнозування в межах окремих інженерно-геологічних регіонів;
- створення часових моделей середньо- та довгострокового прогнозу зсувів для окремих інженерно-геологічних регіонів;
- оцінювання ризику площинної ураженості зсувами в межах інженерно-геологічних регіонів з урахуванням часових рядів.

**Об'єкт дослідження** – часові ряди активізації зсувів та природних чинників їхнього формування тривалістю 60 років (з 1960 по 2019 рр.).

**Предметом досліджень** є середньо- та довгостроковий прогноз активізації зсувів у Карпатському регіоні з метою зменшення негативних наслідків зсувів на довкілля.

**Методи досліджень.** При вирішенні поставлених наукових завдань використовувались методи порівняльного аналізу аномалій гравітаційного, магнітного полів, геолого-геоморфологічних чинників просторового розподілу зсувів для окремих територій; статистичний аналіз часових чинників, насамперед, геофізичних (кластерний, кореляційно-регресійний, спектральний для виявлення багаторічних тенденцій взаємообумовленості

динаміки розвитку зсувів та природних чинників, що їх провокують), методи екстраполяції часових рядів для середньострокового та довгострокового прогнозу зсувів.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Дістав подальший розвиток методичний підхід до аналізу просторових характеристик зсувів відносно літологофаціальних комплексів підстелених порід та встановлено ступінь зв'язку з геоморфологією рельєфу. Вперше на основі комплексного аналізу просторового поширення зсувів встановлено, що параметр “крутизна поздовжнього профілю” здебільшого підпорядковується двомодальному закону розподілу, що свідчить про різні типи зсувів та надає можливість їх класифікації з урахуванням літології.

2. Вперше на регіональному рівні виконано аналіз просторового поширення зсувних процесів у гравітаційному та магнітному полях та доведений зв'язок диференціації геофізичних полів та відповідного розподілу зсувів з тектонічними процесами.

3. Удосконалено алгоритм часового прогнозу зсувів у межах окремих інженерно-геологічних регіонів шляхом використання диференціації вихідних геофізичних та супутніх чинників та одержано нову прогнозну модель. Класифіковано ступінь ураженості території на основі кадастрових даних зареєстрованих зсувів за чинниками інженерно-геологічного та тектонічного районування.

4. Вперше виконаний середньостроковий прогноз зсувів на основі ритмічності трьох періодів опадів протягом року та обґрунтовано квазісинусоїдальну часову закономірність зміни ритмів, а також виконаний довгостроковий прогноз зсувів шляхом комплексного використання геліофізичних, сейсмологічних, гідрогеологічних та метеорологічних чинників в окремих інженерно-геологічних регіонах.

5. Уперше виконано оцінювання ризику площинної ураженості зсувами в межах окремих інженерно-геологічних регіонів з урахуванням

часових рядів чинників активізації зсувів, що дозволяє охарактеризувати стан небезпеки для кожного регіону з метою запобігання негативних наслідків від активізації зсувів.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** базується на значному фактичному матеріалі по зсувах, геофізичних дослідженнях та природних часових чинниках їх активізації – сонячної активності, сейсмічності, рівнів ґрунтових вод, метеорологічних чинників за період 1960 – 2019 рр., коректному використанні статистичного аналізу для виявлення взаємозв'язків між зазначеними параметрами та встановлення періодичності розрахованого комплексного інтегрального показника зсувної активності, підтвердженні отриманих теоретичних результатів фактичними даними.

**Наукове значення роботи** Завдяки розрахованим часовим рядам інтегрального показника ймовірності зсувів встановлена періодичність зсувної активності та виконано середньо- та довгострокове прогнозування активізації зсувів за місяцями та на десятиріччя. Представлена методика прогнозування та часові моделі є складовою екологічного блоку забезпечення сталої експлуатації території та об'єктів господарського та промислового призначення.

**Практичне значення одержаних результатів.** Завдяки розрахованим часовим рядам інтегрального показника ймовірності зсувів встановлена періодичність зсувної активності та виконано середньо- та довгостроковий прогноз активізації зсувів у Карпатському регіоні до 2040 року.

Побудовані прогнозні часові моделі дозволяють передбачати ймовірний розвиток зсувних процесів, враховуючи особливості окремих інженерно-геологічних регіонів.

Результати, що отримані під час досліджень можуть використовуватись для прогнозу небезпеки виникнення зсувів та завчасного попередження, при

розробленні протизсувних заходів, при оцінці територій для забудови приватними чи інженерно-господарськими спорудами.

**Фактичний матеріал та особистий внесок здобувача.** Дисертація базується на дослідженні опублікованих джерел, аналізі фактичного матеріалу кадастрових даних зсувів ДНВП “Геоінформ України”, часових рядів природних чинників, що в комплексі провокують виникнення та активізацію зсувів. Фактичний матеріал – це кадастр зсувів та часові ряди сонячної активності, сейсмічності, рівнів ґрунтових вод, метеопараметрів (атмосферних опадів та температури повітря).

Здобувачем особисто вивчено, проаналізовано та узагальнено геолого-геофізичні матеріали, кадастрові дані зареєстрованих зсувів та часові ряди чинників, що їх провокують. Наукові результати дисертаційної роботи отримані особисто здобувачем на підставі вивчення проблеми прогнозування зсувів, комплексного аналізу природних геолого-тектонічних, геофізичних просторових та часових чинників та їх взаємозв’язку з процесами зсувоутворення. Побудовані прогнозні моделі дозволяють враховувати відмінності окремих регіонів і передбачати ймовірний розвиток зсувів у середньостроковій перспективі (в межах року) та довгостроковій (на десятиріччя), крім того, запропонована методика оцінювання ризику площинної ураженості зсувами дозволяє завчасно оцінити небезпеку та діяти на випередження через прийняття управлінських рішень.

Основні ідеї, наукові положення і теоретичні висновки дисертації сформульовані здобувачем особисто та висвітлені у фахових виданнях [3-25]. У роботах [3-5,7-17,20-22] авторка брала участь у постановці задачі, аналізі геофізичних параметрів активізації зсувів, виконувала: комплексну інтегровану інтерпретацію геофізичних даних з метою виявлення ймовірного розвитку зсувів; аналіз поширення зсувних процесів в аномаліях гравітаційного та магнітного полів; дослідження просторового розподілу зсувів з урахуванням геологічної та тектонічної будови регіону; статистичну

обробку (визначення законів розподілу та побудову кореляційно-регресійних моделей, розрахунок факторних навантажень природних чинників на активізацію зсувів); часове моделювання зсувної активізації, аналізі результатів та підготовці висновків. В одноособових роботах [6,18-19,23] авторкою виконано статистичну обробку та аналіз комплексу просторових параметрів зсувів, геоморфологічних характеристик (крутизна схилу, відстань до найближчого базису ерозії, визначення експозиція схилу) з метою виявлення закономірностей поширення зсувів у межах різних літофаціальних комплексах підстелених порід, геолого-тектонічних одиниць. У публікаціях [24,25] авторка досліджувала вплив гідрогеологічних комплексів на розвиток зсувних процесів та виконувала оцінювання ризику площинної ураженості зсувами.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати за темою дисертації доповідались і обговорювались на науково-практичній конференції “Екологічні проблеми нафтогазового комплексу” (Київ, 2004) [16], на VI міжнародній науковій конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища” (Київ, 2005) [17], на XVII Міжнародному науково-технічному симпозиумі “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології” (Алушта, Крим, 2012) [18], на всеукраїнській науково-практичній конференції “Геодезія. Землеустрій. Природо-користування: присвячується пам’яті П.Г.Черняги” (Рівне, 2014) [19], на міжнародній науково-технічній конференції “Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики” (Івано-Франківськ, 2016, 2020) [20,25], на XVII, XVIII міжнародних конференціях “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти” (Київ, 2018, 2019) [21-22], “Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення” (Тернопіль, 2020) [23], “GeoTerrace- 2020” (Львів, 2020) [24].

**Публікації.** За темою дисертації автором опубліковано 25 праць, з них дві монографії (опубліковані у співавторстві), 13 статей у фахових виданнях (з них 2 – у закордонних виданнях, що реферуються у БД Scopus, 11 – в журналах, які відносяться до науко-метричних баз) та 10 тез доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях, з них 5 реферуються в БД Scopus.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна роботи складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації – 214 сторінок. Дисертація містить 57 рисунків, 25 таблиць, список використаних джерел включає посилання на 188 найменувань.



## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ**

### **1.1. Загальна характеристика зсувних процесів як явища**

Як відомо, зсувом називають екзогенний геологічний процес, що характеризується зміщенням частини гірських порід на більш нижчий гіпсометричний рівень при збереженні контакту з нерухомою основою [30]. Виникнення зсувів може бути спровоковано не лише особливостями геологічної чи тектонічної будови, але й довготривалими сильними опадами, землетрусами та підсилюватися антропогенними діями, такими як підрізка схилів, прибережна забудова, неконтрольована вирубка лісів, тощо.

Інформаційне агентство “Українські національні новини” (UNN) з посиланням на ДСНС повідомило, що аномально високі та затяжні дощі 17-29 червня 2020 р. спричинили паводок на західній Україні та спровокували зсуви ґрунту в Карпатському регіоні. У Чернівецькій області через сильні дощі піднявся рівень води у річках Прут, Черемош та Брусниці. Також розмиті автодороги та підтоплені мости у 7 населених пунктах Вижницького, Путисьького та Кіцманського районів. У селі Бережонка Вижницького району стався зсув ґрунту, який пошкодив частину дороги [31]. Також активізацію зсувів зафіксували у Міжгірському та Рахівському районах Закарпатської області [32].

Активізація зсувів є проблемою і для інших країн світу. Так, за даними ЗМІ через зростання сейсмічної активності на мисі Кракнесет, на півночі Норвегії, в провінції Фіннмарк стався гігантський зсув ґрунту, який змив у море 8 будинків [33]. Гірські райони Швейцарії, Швеції, Італії також потерпають від зсувів, спровокованих сильними зливами [34]. Протягом минулого року катастрофічні зсуви з людськими жертвами реєструвались в країнах Азії: Бірмі, Непалі, Китаї [35-37].

У різних країнах світу розробляються та впроваджуються програми для завчасного попередження про можливу небезпеку та подолання наслідків активізації зсувів. Такі програми існують у США та Європі. Керівні принципи для систем моніторингу та раннього попередження зсуву в Європі розроблені Міжнародним центром георизиків (Норвезький геотехнічний інститут, Осло, Норвегія), які полягають у спостереженнях, аналізі та оперативних сповіщеннях завчасного попередження виникнення зсувів. Норвезька служба прогнозування та попередження зсувів працює у тісній співпраці зі службою прогнозування повеней. Моделі гідрометеорологічного прогнозування створюється на основі даних гідрологічних станцій, метеостанцій, історичного ряду активізації зсувів, повеней, граничних значеннях опадів. Основною метою служби є зменшення економічних та людських втрат, що спричинені зсувами. Служба щоденно проводить національну оцінку небезпеки зсуву на регіональному рівні (до прикладу, для округу та/або групи муніципалітетів) [38].

У США існує Національна програма зсувів (LHP) для збору інформації, проведення досліджень, реагування на надзвичайні ситуації, стихійні лиха, виконання наукових досліджень для зменшення матеріальних витрат від наслідків зсувів. Геологічна служба США розробляє і використовує в режимі реального і найближчого часу систему моніторингу зсувів щоб забезпечити своєчасне оперативне реагування при перших ознаках катастрофічного зсуву порід [39].

Для обміну досвідом та координації наукових та практичних заходів у боротьбі з зсувною небезпекою проводяться симпозіуми, конгреси, форуми. 12-й Міжнародний симпозіум “Зсуви та інженерні схили. Досвід, теорія та практика” (12-19 червня 2016 р., м. Неаполь, Італія) був присвячений дослідженню зсувів, спровокованих природним та техногенним впливом (зсуви, що спричинені вулканами, землетрусами, людською діяльністю) [40]. Кожні чотири роки проводиться Міжнародний геологічний конгрес

(International Geological Congress – IGC), який об'єднує наукову спільноту навколо питань вивчення теоретичних та практичних основ розвитку та умов геологічного середовища. Даний конгрес став провідною ланкою, яка дозволяє всебічно та якісно висвітлювати основні проблеми геологічного середовища та геосфери в цілому. Зокрема, на 35 Міжнародному геологічному конгресі, який відбувся 27 серпня - 4 вересня 2016 року у м. Кейптаун (Південна Африка) було представлено 23 доповіді, які стосувались досліджень небезпечних процесів природного характеру (підтоплення, зсуви, землетруси, цунамі та виверження вулканів). Частина доповідей присвячена вивченню зсувних процесів на локальному рівні (на прикладі конкретних зсувних об'єктів) та проблем розуміння геологічних небезпек і пошуку шляхів мінімізації їх наслідків від активізації зсувних процесів на регіональному рівні [41]. На четвертому всесвітньому форумі зсувів (WLF4) [42], що проходив 29 травня – 2 червня 2017 р. у м. Любляна (Словенія) обговорювались результати досліджень зсувів та зменшення ризиків для життєдіяльності у зв'язку з небезпечними природними явищами.

Головною причиною, що збільшує активізацію зсувів, зумовлює зниження стійкості ґрунтів і руйнування об'єктів народного господарства та житлових будівель, є комплексна дія чинників різної природи: геологічних, тектонічних, геоморфологічних, гідрологічних, погодно-кліматичних параметрів, сейсмічних, наслідків господарської діяльності [43, 44].

Вплив техногенної складової на розвиток зсувів відіграє значну роль для Карпатського регіону, де відбувається масове неконтрольоване вирубування лісів, збільшення розорюваності земель, підрізання схилів для будівництва, прокладання транспортних та побутових комунікацій, руйнування русел гірських річок через відбір гравійно-щебенистого матеріалу.

Варто зазначити, що останні десятиліття дозвіл на забудову часто виконується без проведення інженерно-геологічних досліджень території, що

в майбутньому призводить до утворення тріщин чи руйнування будинків, споруджених на схилах. Про факти впливу господарської діяльності на розвиток зсувів зазначається у [1], коли через “розорювання схилів та їх підрізку при плануванні ділянок під забудову та будівництві доріг розвинувся зсув 10 травня 2018 року в смт. Кольчино, Мукачівського району розміром біля 150×50 м та площею 0,007214 км<sup>2</sup>, закладений у техногенних відкладах - відвалах гірських порід, що використовуються в якості сировини для виготовлення щебеню для будівельних робіт, при цьому зсувними масами вщент зруйновані 2 житлові будинки, ще один значно пошкоджений, існує загроза ще 5 житловим будинкам.

У м.Чернівці, по вул. Золочівський знаходиться активізована зсувна ділянка, яка утворилась у 2016 р., остання активізація зафіксована в жовтні 2019 р., серед причин активізації наводяться – підтоплення каналізаційними стоками та діяльність глиняного кар’єру, який розташований на північ по схилу”.

Як бачимо, господарська діяльність людини впливає на екологічний стан верхнього шару геологічного середовища і є одним з чинників розвитку зсувних процесів.

Чинники, що сприяють утворенню зсувів, поділяються на постійні, повільно змінні та швидкозмінні (плинні).

До постійних чинників належить незмінна геологічна будова, рельєф. Ці чинники характеризують генетичні особливості зсувів та інтенсивність їх прояву (ураженість території). До повільно змінних чинників, які визначають загальну тенденцію розвитку зсувного процесу, відносяться річна та балкова ерозія, сучасні тектонічні рухи та кліматичні чинники. До швидкозмінних чинників відносяться метеорологічні (атмосферні опади, режим температури, вітер та ін.), гідрологічні (рівні води в ріках, рівні ґрунтових вод), сейсмічні (землетруси) та техногенні (вирубка лісів, підрізка схилів, динамічні навантаження – робота та рух автомобільного та

залізничного транспорту, будівельні роботи та ін.). Постійні та повільнозмінні чинники створюють передумови для просторового, а швидкозмінні – для часового прогнозу.

Так, для Карпатського регіону характерно утворення зсувів в середньо- та високогірних районах на крутих  $25^\circ$  і більше схилах долин рік Тиса, Прут, Черемош, та ін. Гірські породи на зсувних ділянках сильно дислоковані, з густою мережею тріщин, трансформовані у крупні блоки, уламки, щебінь.

Загальна причина виникнення зсувів полягає у втраті стійкості гірських порід, що складають схил [45]. Крім основних геолого-геоморфологічних чинників, є й інші чинники, що за певних умов впливають на стійкість схилу. До них належать ґрунтові води та сильні і тривалі дощі, коли значно перевищується норма опадів. Ґрунтові води, тобто підземні води першого від поверхні постійно існуючого водного горизонту, розташованого на першому водонепроникному шарі (глини), мають вільну водну поверхню, яка піднімається або опускається залежно від кількості та інтенсивності дощів, що вільно просочуються в поверхневі тріщинуваті породи та накопичуються на глинистому ложі, сприяючи сповзанню верхніх шарів порід.

## **1.2. Вивчення зсувів геофізичними методами**

Методика досліджень та прогнозування зсувів розроблена такими науковцями як: О.П. Ємельєєнова, К.І. Бондарик, Г.С. Золотарев, В.В. Кюнтцель, К.А. Гулакян, А.І. Шеко [46-55] і наведена в монографії [56]. Вагоме значення в даній роботі приділено обґрунтуванню умов застосування геофізичних методів для дослідження зсувних ділянок, а також методиці проведення польових робіт та комплексній інтерпретації геофізичної інформації.

Геофізичні методи дозволяють з найменшими затратами часу і коштів отримати інформацію про фізичні характеристики верхнього шару геологічного середовища: внутрішню структуру геологічного розрізу,

визначити геометрію дзеркала ковзання, літологічні контакти порід. Комплексування геофізичних досліджень при вивченні зсувних ділянок відображено в низці закордонних публікацій, зокрема, при вивченні зсувів у районі водосховища, у Туреччині [57] застосовувався комплекс методів електричного опору (визначення контакту між глинистими алевролітами та корінними породами), природних потенціалів (визначення рівня ґрунтових вод). Геофізичні дані показали повну сумісність з даними буріння.

У публікаціях [58-59] зазначається про можливість застосування гравірозвідки для картування потенційних зсувних ділянок. Вимірювання сили тяжіння показують додатні аномалії для щільних скельних порід, а зони тріщинуватості відображаються від'ємними аномаліями. Найбільш перспективними можна вважати застосування вимірювань сили тяжіння в моніторингу зсувних зон, особливо в період очікування (потенційне) збільшення активності на схилах, оскільки аномалії залишкового тяжіння демонструють зміни напруженості гірського масиву або суттєві зміни водного режиму масиву порід. Крім цього, в даній роботі звертається увага на доцільність доповнення геофізичних методів по моніторингу зсувів кліматичними даними (до прикладу, про кількість атмосферних опадів), що дозволяє класифікувати тимчасові коливання рівнів ґрунтових вод, зумовлених змінами властивостей зсуву (підвищеною насиченістю, через довготривалі атмосферні опади, що передують активізації зсувних процесів) або наслідками змін властивостей порід через сейсмічні струшування.

Застосування геофізичних методів для вивчення гідрогеологічних і інженерно-геологічних умов ґрунтується на тісному зв'язку фізичних параметрів порід з їхнім складом, станом, водно-фізичними та фізико-механічними характеристиками. Геофізичні дослідження зсувних процесів дозволяють отримати інформацію про зміни фізичних властивостей гірських порід, які відбуваються при переході від стійкого до порушеного стану. Такі зміни супроводжується істотними змінами фізичних характеристик масиву

(виявлення зон контрастності порід різної щільності, магнітних властивостей, картування зон розущільнення та тектонічних порушень, зменшення питомого електричного опору та зростанням коефіцієнтів електричної анізотропії, змінами швидкості імпульсів природного електромагнітного поля Землі, зменшенням швидкості розповсюдження повздовжніх та поперечних хвиль).

Наведемо характеристику геофізичних методів та завдання, що вирішуються ними при дослідженні зсувів.

Гравіметрична зйомка дозволяє дослідити основні елементи глибинної будови території досліджень, виділити об'єкти, які відрізняються за своєю щільністю, розломні зони, дослідити рух підземних вод (високоточні мікрогравіметричні спостереження).

Магнітна зйомка на основі контрастності магнітних властивостей мінералів дозволяє встановити зони літологічних контактів порід, закономірності росту аномальних напружень у масиві зсувних порід, встановити зони тріщинуватості. Основними збуреними об'єктами магнітного поля є магматичні та вулканогенні породи. Магнітність підвищується зі збільшенням ступеня їхньої основності. Ліпарити, дацити характеризуються зворотньою намагніченністю, завдяки чому утворюють від'ємні магнітні поля.

Електророзвідувальні методи (вертикальне електричне зондування (ВЕЗ), природне електричне поле (ПЕП)) для дослідження зсувних процесів є найбільш ефективними, оскільки вони дозволяють проводити літологічне розчленування флішових утворень, виділяти тектонічні порушення, області найбільшої зруйнованості порід, ступінь водонасичення, мінералізацію підземних вод, пористість порід, положення відносно рівня ґрунтових вод.

Електричний опір порід крейдових і палеогенових відкладів (корінні породи: пісковики, аргіліти та перешарування аргілітів, алевролітів та пісковиків) змінюється від 40 – 60 Ом·м до 460 – 600 Ом·м [60]. Низькі

значення питомого опору характерні для водонасичених, зруйнованих і тріщинуватих корінних порід.

Електричний опір четвертинних відкладів змінюється майже в таких межах, що і корінних порід, лише верхня межа сягає вище тисячі Ом·м. Максимальними значеннями характеризуються четвертинні відклади з великою кількістю уламків, які залягають вище рівня ґрунтових вод. Водонасиченість теж суттєво впливає на питомий опір: чим більше водонасиченість порід, тим нижчий опір.

Природне імпульсне електромагнітне поле Землі (ПЕМПЗ) генерується гірськими породами при дії на них механічних напружень [61-62]. Джерелами ПЕМПЗ є масиви гірських порід, в яких під дією механічних напружень виникають незворотні деформації зерен мінералів-діелектриків і капілярів, заповнених електролітом. Тому генерувати електромагнітні імпульси можуть не тільки породи з жорсткими зв'язками, а й пластичні (до прикладу, глини) з водно-колоїдними зв'язками між зернами. Механічні напруження мають різну природу: літостатичний тиск, тектонічні сили, гідродинамічні та структурні тиски, а також техногенні порушення стану рівноваги. Електромагнітна активність порід закономірно пов'язана з розвитком тектонічних порушень, зон тріщинуватості. Оскільки геологічне середовище, зазвичай, знаходиться в стані динамічної рівноваги, то механічні дії призводять до її порушення – проходять процеси накопичення і розрядки механічних напружень поміж компонентами системи, в результаті виникають аномалії імпульсного електромагнітного поля, які дозволяють виявити зони розвитку тектонічних порушень та тріщинуватості.

Сейсмічні методи дозволяють диференціювати гірські породи за швидкістю поширення повздовжніх ( $V_p$ ) і поперечних ( $V_s$ ) хвиль. Швидкість поширення повздовжніх хвиль змінюється в широких межах і залежить від складу, водонасичення і пористості порід. Скельні породи володіють жорсткими зв'язками ( $V_s$  і  $V_p$  найбільші), для крупноуламкових і піщаних



порід зв'язки відсутні, а для глинистих порід характерні водно-колоїдні зв'язки, які істотно відрізняються між собою ( спостерігаються проміжні значення  $V_p$  і низькі  $V_s$ ). При руйнуванні структурних зв'язків швидкості хвиль різко зменшуються.

Серед осадових і скельних порід більш низькі значення швидкості спостерігаються у теригенних і більш високі - у карбонатних породах. Загалом, сейсмічні властивості скельних порід значно сильніше і залежать від інших чинників, у першу чергу, від ступеня їх збереження, ніж від мінерального складу. До прикладу, вплив вивітрювання може інколи значно перевершити вплив зміни речовинного складу. Відношення швидкості розповсюдження пружних хвиль у вивітрених породах до швидкості у збережених гірських породах може зменшитись до 0,5.

Сейсмічні властивості пухких порід більше залежать від водонасичення ніж від їх складу. Перехід від неповного водонасичення до повного супроводжується стрибкоподібним зростанням величини  $V_p$ , яка найбільш помітна для піщаних (у 3-7 рази) і в меншій мірі - для глинистих (у 1,5-6 разів) порід. У скельних породах  $V_p$  дуже залежить від пористості та тріщинуватості, зі збільшенням яких  $V_p$  зменшується [60].

Усі зазначені дослідження стосуються локальних ділянок. Це, зокрема, відображено у працях українських учених. Типовими є приклади, наведені у фундаментальних роботах Безсмертного А.Ф., Чебана В.Д., Тяпкіна О.К, Іванік О.М., Крив'юка І.В. [61-66].

### **1.3. Проблема прогнозування зсувів**

До найбільш серйозних проблем в екогеології варто віднести питання прогнозування зсувів. Існують різні модифікації прогнозів, так в роботі [54-55] зазначено, що прогнози геологічних та інженерно-геологічних процесів класифікують за декількома ознаками.

**Часові** прогнози:

- довгострокові зазначають приблизну тривалість і вказують на потенційну небезпеку в певному регіоні;
- середньострокові діють на термін від декількох місяців до кількох років;
- короткострокові зазначають терміни від декількох днів до декількох годин для необхідності прийняття невідкладних заходів щодо захисту споруд, евакуації людей, припиненню експлуатації об'єктів народного господарства.

Розрахунки прогнозів базуються на детермінованих і ймовірнісних моделях та схемах. Орієнтовані прогнози виконуються для регіональних характеристик процесів і призначені для оцінки інженерно-геологічних умов на початкових стадіях проектування споруд, освоєння території і охорони довкілля, вони базуються на матеріалах геологічного картування, на досвіді будівництва. Уточнені прогнози повинні бути максимально достовірними і базуватись на результатах детальних досліджень – розвідувальних, картувальних, дослідницьких, режимних спостережень.

Достовірність прогнозів обумовлюється встановленими закономірностями розвитку процесів і явищ, кореляційних, функціональних залежностей з головними чинниками, на основі системного аналізу. Зсувні, селеві, карстові та інші екзогенні геологічні процеси, не дивлячись на їх багатофакторність та часову мінливість, є переважно детермінованими, з деякими відхиленнями, незворотними і характеризуються кумулятивним ефектом.

**За площами прояву** прогнози поділяються на:

- регіональні,
- локальні.

Регіональний прогноз геологічних процесів та інженерно-геологічних процесів припускає встановлення можливості виникнення, розвитку, інтенсивності, масштабності та інших параметрів під впливом взаємнообумовлених природних і техногенних чинників у межах великої

області, території, однотипної за геологічною будовою, геоморфологією, гідрогеологічними умовами. При регіональних прогнозах, зазвичай, немає можливості вказати конкретні типи, місця та параметри геологічних процесів та явищ, тож надається їх фонові характеристика з загальними закономірностями розвитку [55,56].

Локальні прогнози відносяться до певних типів схилових та інших процесів, до місць їхньої дії і часто у взаємодії з конкретними спорудами, проведенням будівельних робіт. Для екзогенних геологічних процесів локальні прогнози мають велике практичне значення і зазвичай здійснюються за декількома методами, глибше оцінюють природу та механізм процесів. У прогнозах широко використовуються різні критерії (граничні значення), при досягненні яких починається активізація процесу (до прикладу, для зсувів – вологість, міцність, потужність товщі, висота та крутизна схилів, градієнти підземних вод), кореляційні зв'язки між критеріальними значеннями, що виявлені при інженерно-геологічних спостереженнях. Локальний прогноз базується на детермінованих моделях: стохастичні моделі для визначення приблизної періодичності процесів із глибоким вивченням закономірностей процесів та об'єктивних вхідних даних.

На сьогоднішній день зроблено чимало зусиль для прогнозування зсувів з метою завчасного попередження і зменшення наслідків стихійного лиха.

Прогноз екзогенних геологічних процесів включає різні методи: аналіз і узагальнення геологічних та фактичних даних, розрахунки розвитку процесу, ймовірно-статистичні способи.

До задач прогнозування входить визначення характеру та можливості виникнення процесів, місця і ймовірного часу їх виникнення. Достовірність прогнозів обмежена, вони майже завжди є приблизними та ймовірнісними.

Причиною є складність та багатофакторність даного процесу, оскільки зсувна активність визначається багатьма випадковими незалежними один від одного чинниками, недостатньою точністю вхідних характеристик,

неповною відповідністю механізму реального процесу теоретичній схемі, що лежить в основі методу розрахунку. Для практичних задач необхідно вказати межі ймовірних коливань прогнозних оцінок.

Надійні прогнози зсувного процесу неможливо будувати без часового чинника, який враховує ритмічність процесу, що викликається сумарною дією зсувоутворюючих чинників. Застосування ймовірнісно-статистичних моделей дослідження зсувів у природних умовах дало можливість виявити ритми у рядах зсувів, зумовлених сукупністю діючих чинників.

I ряд 2.5-5-10-30-60-300-600-1800 років

II ряд 2.7 -5.5-11-12-88-176-880-1850 років

III ряд 3-6-9-18-90-180-900-1800 років

Особлива увага надається внутрішньовіковим ритмам, зокрема десятилітнім і одинадцятилітнім, які пов'язуються з сонячною активністю. На початкових стадіях імовірнісне прогнозування виконується методами прогнозного картування, які зводяться до оброблення геологічної інформації та визначення ймовірності виникнення зсувного процесу за алгоритмом розпізнавання, що дозволяє виділяти однорідні за рядом чинників ділянки, для яких оцінюється ступінь зсувонебезпечності. На другому етапі застосовуються методи визначення частоти активізації зсувів. У цьому випадку ймовірнісні моделі використовують для прогнозу розвитку зсувних процесів у часі та їх інтенсивності. Це є більш детальне регіональне картування з урахуванням даних стаціонарних спостережень. Загальним для всіх ймовірнісно-статистичних методів є необхідність рядів даних, достатніх для статистичної обробки [55].

Вивченням екзогенних геологічних процесів (ЕГП), розробленням методик прогнозування ЕГП, у тому числі й зсувів, займалися відомі вчені – Бондарик Г. К. [46], Ємельянова О. П. [47,48], Кюнтцель В. В. [49,50,53], Постоев Г. П. [50,55], Гулакян К. Л. [50-52], Круподеров В. С. [54,55], Шеко А. І. [54-55], Трофимов В. Т. [56], Мальнева І. В. [68-69], Кононова Н. К. [68], Демчишин М. Г. [70], Маркарьян В. В. [71], Єриш І. Ф., Саломатін В. М. [167],

Згідно [54-55] під регіональними прогнозами зсувів розуміють науково-обґрунтоване передбачення сфери їх прояву та часу виникнення або активізації в межах території, що вивчається. Прогноз може бути просторовим, просторово-часовим і часовим.

Головною задачею регіонального прогнозу зсувного процесу є визначення області його можливого виникнення та розвитку, типу механізму прояву та інтенсивності в часі. Рішення цієї задачі виконується в три стадії. На першій з них оцінюється можливість виникнення або активізації зсувного процесу в певних частинах території та встановлюється спрямованість процесу. На другій стадії прогнозується хід розвитку процесу в часі, в природних умовах з урахуванням очікуваної дії впливу природних чинників. На третій стадії враховується взаємодія зсувного процесу з інженерними спорудами.

Одна з найкращих, з точки зору повноти та послідовності, класифікацій прогнозу зсувів наведена в роботі [57], частина її, що пов'язана з регіональними прогнозами, представлена в табл. 1.1.

Близька за змістом схема прогнозування, але більш деталізована наводиться в роботі [56] - див. рис. 1.1. Найкраща характеристика просторових прогнозів наведена В.В. Кюнтцелем у роботі [53]: „Найбільш розроблені та перевірені в різних природних умовах методи просторового прогнозу зсувів. Тут намітились два основних напрямки. Перший із них опирається на принципи закономірностей локалізації зсувного процесу в його подальшого розвитку. Методика цих прогнозів передбачає визначення на всій території досліджень деяких інженерно-геодинамічних показників. Побудова карт ураженості території різними екзогенними процесами, у тому числі зсувними, та їх активності дозволяє дати орієнтовну прогнозну оцінку процесів, що вивчаються”.

Недоліки такого підходу полягають в узагальненій, емпіричній оцінці прогнозованих параметрів, труднощах розпізнавання проявів деяких категорій зсувів, недостатньому теоретичному обґрунтуванні їх розвитку. Більш перспективним є інший напрямок розробки просторових регіональних

Таблиця 1.1.  
Класифікація прогнозів зсувних процесів (за К.А. Гулякном, Д.Б. Саркіяном [51])

Задачі прогнозу	Часткові методи прогнозів та їх групи	Види прогнозів	
		просторові	часові
Встановлення можливостей виникнення зсувних процесів	Історико-геологічний	Регіональні	Довгострокові
Визначення областей розповсюдження та попередня оцінка направленості зсувних процесів	Районування за ступенем “зсувного ризику”. Методи аналогій	Регіональні	Довгострокові, середньострокові
Уточнення просторових параметрів ділянок розміщення зсувів і виявлення ходу їх розвитку в часі	Прогнозне картування за показниками ймовірності. Методи визначення періодів активізації	Регіональні	Довгострокові, середньострокові

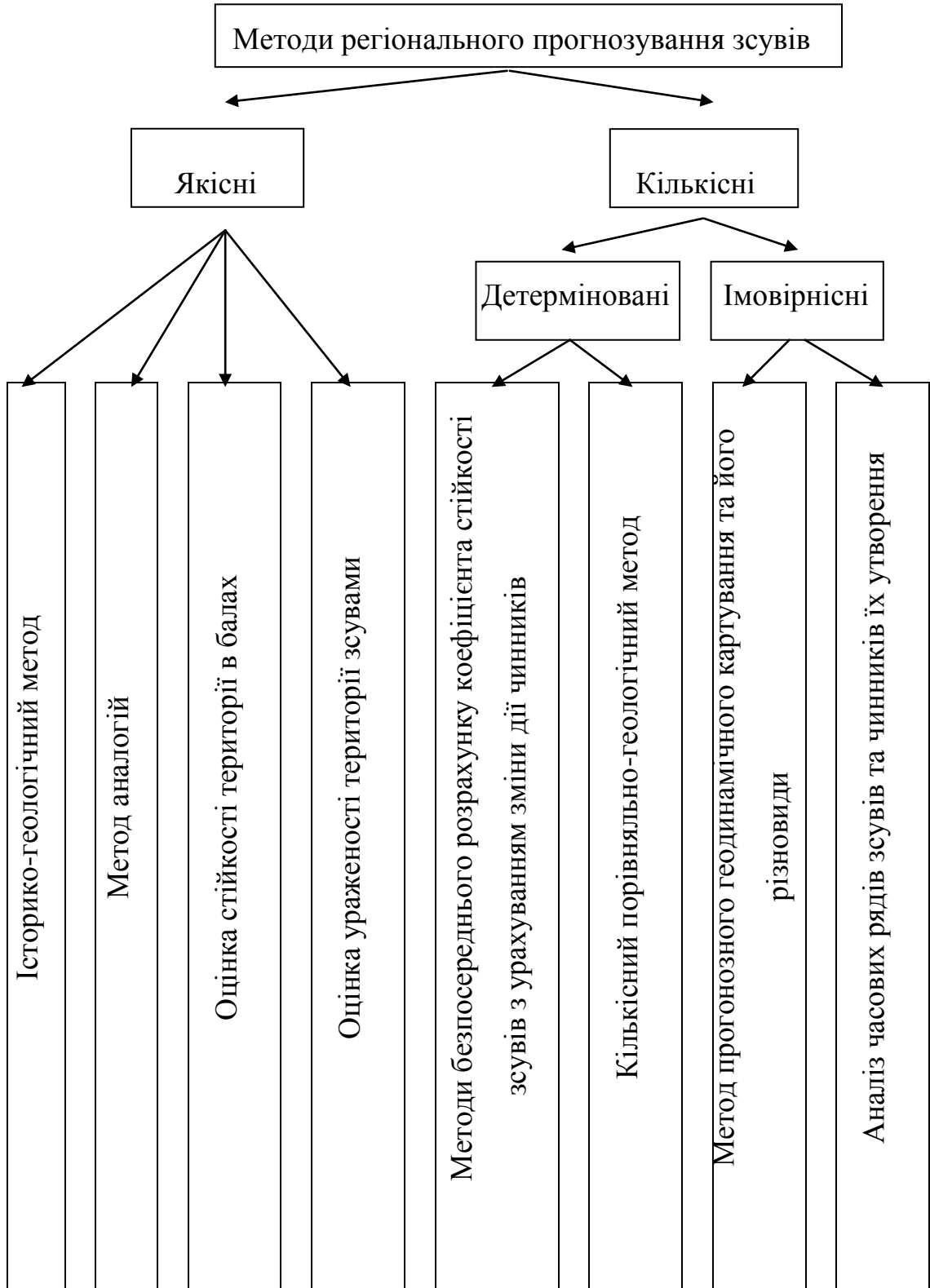


Рис. 1.1. Класифікація методів регіонального прогнозування зсувів

(за В.В. Кюнтцелем, Г.І. Тарасовою [53])

певних областях геологічного простору та успадкованості характеру прогнозів зсувів, який базується на врахуванні впливу на їх розвиток природних та антропогенних чинників.

Одним із варіантів такого прогнозу є спосіб оцінки стійкості території в балах. Оцінка потенційної стійкості території по відношенню до зсувного процесу проводиться з урахуванням літолого-генетичних особливостей порід, структурно-тектонічних умов, крутизни схилів і деяких інших чинників. Однак така методика має якісний характер.

Більш універсальним та досконалим є метод, що ґрунтується на кількісному врахуванні впливу сукупності чинників на стійкість території та режиму її переформування. Кількісна характеристика цих змін виражається через інтегральний показник, який визначає відносну ймовірність виникнення чи активізації зсувного процесу на території досліджень і має назву зсувного потенціалу. Важливою особливістю цього методу прогнозу є можливість одночасного встановлення закономірності просторового розподілу зсувів і ступеня залежності їх від окремих чинників.

Публікація румунських учених [70] присвячена оцінці зсувної ймовірності на підставі врахування восьми чинників природного характеру: літологічного, морфологічного, кліматичного, гідрогеологічного, сейсмічного, антропогенного та рослинного покриву, оцінка яких виконана в балах і для зручності приведена до стандартної шкали в межах від 0 до 1. Карти кожного чинника додаються за регулярною мережею та відносяться до одного з шести класів небезпеки.

У доповіді вчених Узбекистану [71] наведено результати оцінки ризику зсувних процесів для території гірського Узбекистану. В якості чинників зсувної небезпеки вони розглядали висоту над рівнем моря, кут нахилу денної поверхні, експозицію схилу, річкову мережу, наявність сільськогосподарських угідь, геологічну будову, кількість опадів.

Багато робіт представляють результати районування територій уражених зсувними процесами з урахуванням тих чи інших чинників, різних



підходів до виділення окремих територій. Так, до прикладу, у роботі польських вчених [72] приведено результати районування території, що уражена зсувними процесами за гідрогеологічними особливостями.

Найскладнішими є задачі часового прогнозу. Прогноз повинен бути надійним, достовірним щодо місця та часу можливого зсуву. Теоретичною основою його є вчення про періодичність природних процесів. Часові прогнози базуються на виявленні стійких ритмів зсувної активності та співставленні їх із відповідними ритмами сонячної активності, атмосферної циркуляції, атмосферних опадів та інших геофізичних параметрів. Методи прогнозування ґрунтуються на визначенні емпіричних залежностей із подальшою екстраполяцією встановлених трендів. Керуючим документом для визначення методики часових прогнозів слід вважати, на нашу думку, роботу [55]. Технологічна схема будови довгострокових прогнозів наводиться відповідно до зазначеної монографії (рис. 1.2).

Отже, сучасна методологія просторового та часового прогнозу зсувів викладена в “класичних” роботах [49-56], які проаналізовано в даному розділі. Ця методологія апробована в окремих її частинах, але в повному об’ємі застосування для будь-якого регіону не знайшла. Проте немає підстав її відкидати – в узагальненому вигляді ми вважаємо за доцільне використання зазначеної методології як схематичної основи для створення регіональної системи прогнозування зсувних процесів при умовах:

1) адаптації до конкретних умов; 2) розвитку математичного апарату обробки та інтерпретації даних; 3) дотримання послідовності, комплексності та повноти аналізу в етапах досліджень.

Одна з методик вивчення екзогенних геологічних процесів з метою довгострокового прогнозування описана в роботі [49]. Зокрема, там зазначено, що регіональний часовий прогноз ЕГП при відсутності довготривалих часових рядів спостережень ґрунтується на детальному вивченні умов розвитку зсувів у взаємодії з усім комплексом діючих чинників.



Рис. 1.2. Загальна технологічна схема довгострокових регіональних прогнозів екзогенних геологічних процесів (за А.І. Шеко, В.С. Круподеровим [55]).

Часовий прогноз базується на аналізі та прогнозі динаміки основного регіонального чинника розвитку зсувів, дія якого екстраполюється на квазіоднорідні за умовами розвитку ділянки. При цьому припускається, що такі ділянки будуть також квазіоднорідними за переважаючим типом зсувів та режимом їх розвитку.

Ця задача вирішується за допомогою загального і спеціального інженерно-геологічного районування, яке є основою для прогнозування цього процесу. Районування виконується для оцінки геолого-геоморфологічних умов розвитку зсувів, оцінки ступені стійкості схилів відносно розвитку зсувів і

приводиться до рівня районів або підрайонів. Райони виділяються за характером всієї площі відкладів на глибину, що відповідає сучасному базису ерозії. Яружна ерозія може розглядатися як регіональний чинник, який разом з атмосферними опадами провокує розвиток зсувів через тісний зв'язок цих процесів.

Типи районів встановлюють за літологічним складом порід, оскільки саме він формує фізико-механічні властивості порід, визначаючи швидкість і механізм розвитку зсувів. В результаті будується карта інженерно-геологічного районування з нанесенням контурів регіонів і областей. Далі виконується робота по типізації схилів за певними ознаками, серед яких - генетичний тип (схили ерозійні, ерозійно-зсувні, зсувні), крутизна схилу, для схилів, що підмиваються рікою, виконується типізація за висотою.

При накладанні на карту районування схеми диференціації атмосферних опадів за їхньою кількістю в холодний період року (з вересня по березень) та режиму опадів, який встановлений за багатолітніми спостереженнями, є можливість прогнозувати час і місце масової активізації зсувів. На прогнозній карті виділяються єдині за часом прогнозованої активізації області з однаковим режимом атмосферних опадів у минулому і відповідно в майбутньому. Співставлення територіальних одиниць по стійкості схилів із піками опадів різної величини дають певну степінь імовірності реалізації очікування – до прикладу, пік опадів середньої величини для території з нестійкими схилами дає більшу ймовірність активізації, ніж на середньо стійких схилах і дуже незначну для стійких схилів. Тоді карта районування дає підставу для прогнозування місця можливого виникнення нових зсувів або активізації старих.

Методи прогнозів геологічних та інженерно-геологічних процесів багаточисленні. Залежно від характеру процесів і задач використовуються різні розрахункові модифікації методів. У роботі [76] використаний метод прогнозного картування та аналогій. Прогнозування зсувів здійснюється на

локальному рівні за допомогою визначення ймовірності порушення схилів, яке базувалося на аналізі ряду геологічних, гідрогеологічних, геометричних, геоморфологічних, метеорологічних та інших природних чинників.

У праці [77] на основі кількісної оцінки впливу тектонічних розривів та морфометричних особливостей схилів на розповсюдження зсувів запропоновано метод прогнозу місця та часу утворення зсуву за критичними деформаціями схилів.

Серед сучасних українських науковців проблематиці прогнозування зсувів присвячені роботи Кузьменка Е. Д. [4-7, 10-18, 25, 67, 82-86, 88, 158-159, 163-164, 174, 178-183], Рудька Г.І. [75-78, 81, 104, 109, 110, 161, 176], Демчишина М. Г. [73], Адаменка О. М. [79-81], Єриша І. Ф. [75, 170], Саломатіна В. М. [163, 170], Яковлєва Є. О. [76, 87], Карпенка О. М. [4-7, 82-83, 85, 88, 158, 164, 171, 174,181], Журавля О. М. [4-7, 12-14, 82-86, 174, 181], Гошовського С. В. [6-7, 83, 104, 109, 112, 177], Блінова П. В. [5, 83, 105], Іванік О. М. [90, 175].

У працях [82-86] висвітлено проблему часового прогнозування зсувних процесів на регіональному рівні через вибір природно-техногенних чинників, що ініціюють зсуви; доведено просторовий зв'язок зсувів з кожним з відомих та запропонованих чинників; розроблена методика оцінки регіонального розподілу зсувів з урахуванням інтегральної дії просторових чинників; доведено, що зародження та розвиток зсувів відбувається за рахунок сукупної накопичувальної дії природних часових чинників.

Роботи закордонних учених присвячені, в основному, локальному короткостроковому прогнозуванню зсувів, яке базується на моніторингових вимірах фізико-механічних властивостей порід, а також використовуючи статистичні методи, прогноуються зсуви з урахуванням аномальних атмосферних опадів.

Так у статті [89] запропонована емпірична формула передбачення часу нестабільності схилу через відношення швидкості деформацій і часу утворення

тріщин заколу. В публікації [90] передбачення зсувів здійснюється на основі постійного моніторингу напруження гірських порід, температури, швидкості, повздовжніх та поперечних деформацій ґрунту, геометрії схилу. Недоліком такої моделі є застосування її для даних, що характеризуються постійним прискоренням і постійними зовнішніми умовами. Сезонні коливання метеопараметрів негативно впливають на роботу моделі.

Китайський вчений Сяопін у співавторстві [91] запропонував метод аналізу деформацій на схилі. Виконуючи моніторинг деформацій схилу, здійснюється прогноз часу зміщення порід на основі поліноміальної регресії. За цією методикою був виконаний прогноз зсуву вздовж річки Жовта Ріка в Провінції Ганьсу (Китай), який відбувся 30 січня 1995 р. У роботі [92], використовуючи той факт, що деформації ґрунту спричиняють мікросейсмічні хвилі, проведено дослідження акустичної емісії (АЕ) - встановивши датчики АЕ, які є надзвичайно чутливими до найменших рухів напружень ґрунтів і дають репрезентативні дані для кількісної оцінки схилових деформацій, виявляють збільшення напружень приблизно за місяць до сходження зсуву.

Граничні межі опадів добре використовуються в регіонах, де вони були зафіксовані. Фізична основа граничних значень опадів ґрунтується на часі, необхідному для зволоження ґрунту, щоб дійти до поверхні ковзання. Недоліком є те, що вони не враховують попередні умови зволоження ґрунтів. Тому найменше застосовуються для передбачення зсувів із великою глибиною захоплення порід. Коли граничні значення опадів перевищують норму, видають оповіщення про небезпеку. За допомогою подібних методів були виконані прогнози зсувів у Гонконгу, коли граничні значення опадів сягали 70 мм/год. Цей рівень був прийнятий за основу для попереджувальної системи, яка експлуатується з 1984 року. В Китаї теж існує з 1991 р. система раннього сповіщення для відстеження та моніторингу зсувів і обвалів. З 1996 р. в Ріо-де-Жанейро (Бразилія) встановлена система для попередження зсувів, спровокованими значними опадами. Система ґрунтується на кореляції – “опади

– зсуви” та залежить від підтверджень трьох джерел інформації: погоди, отриманої з метеорологічних радарів за короткий термін; даних з автоматизованих дощомірів мережею (30 штук) і врахування критичних граничних значень опадів, тоді зв’язуються з органами влади для оцінки ситуації та прийняття запобіжних заходів [93].

У роботі [94], використовуючи статистичні методи, здійснено прогноз зсувів на гірських дорогах Тайваню. Використовуючи часові ряди атмосферних опадів, на основі моделі гаусівського розподілу та дискримінантного аналізу зроблено прогнозування – де і коли відбуватимуться зсуви через зливові дощі.

Окремо слід виділити багатопараметричні прогнози, які включають урахування багатьох незалежних параметрів, що дає змогу збільшити надійність таких передбачень. Існують так звані Гірські системи попередження, які складаються з багатьох вимірювальних приладів: нахиломірів, зовнішніх дротяних екстензометрів, центрів GPS, зовнішніх мікросейсмічних датчиків, підземних мікросейсмічних датчиків, вібруючих дротяних п’езометрів.

У праці [95] запропоновано кілька параметрів системи попередження зсувів для залізничних перевезень між Еверетт і Сіетлом у Вашингтоні, США. Система ґрунтується на постійному моніторингу опадів, ґрунтової вологості та порового тиску в поєднанні з емпіричними граничними значеннями опадів.

У світі для швидкого та надійного передбачення зсувів широко застосовуються бездротові сенсорні мережі WSN - мобільного, недорогого обладнання, яке поєднує різні датчики та на основі моніторингу зсувів дозволяє робити попередження доступним. WSN складається з просторово розподілених автономних пристроїв, за допомогою яких спільно контролюються фізичні або екологічні умови, такі як температура, звук, вібрація, тиск, рух або забруднюючі речовини, в різних місцях [96-97].

Думка про те, що екстремальні значення опадів є спусковим механізмом для процесів сходження зсувів, розвинута у низці публікацій зарубіжних учених. Так, у працях [98-99] на основі інформації щодо кількості та тривалості

опадів, встановлено, що в регіонах із помірним кліматом середньої широти для активізації зсувів більш важливим є тривалість опадів, ніж інтенсивність, тоді як в гірських районах інтенсивність є більш актуальною, ніж тривалість. У системах раннього попередження зсувів (LEWS) у Європі використовують інформацію про погодні умови з метеостанцій, погодніх радарів та супутникових даних. Маючи декілька типів прогнозних зсувних моделей, включаючи граничні дані по опадах, моделі стійкості схилів та балансу водонасичення ґрунту, здійснюється оперативний прогноз можливої активізації зсувів, щоб допомогти зменшити ризик втрат [100]. У праці [101] описана гідрологічна модель FLaIR для моніторингу та прогнозування розвитку зсувів залежно від попередньої дії опадів.

Для визначення критичних умов ймовірності виникнення зсувів в гірському регіоні Індії – Калімппоні використовувались дані про вологість ґрунту та довготривалі і значні опади, оскільки збільшення порового тиску та втрата міцності ґрунту призводять до сповзання верхніх шарів ґрунтової маси. Гідрологічна модель, під назвою *Système Hydrologique Européen Transport (SHETRAN)* використовується для моделювання вологості ґрунту протягом періоду дослідження, а довготривалі й значні опади використовувались для оцінки тяжкості наслідків зсувоутворення [102].

Отже, проаналізувавши літературу по часовому прогнозуванні зсувів, дослідженню зсувів геофізичними методами, авторка прийшла до **висновку**, що на сьогоднішній день існують методики часового прогнозування, які різнобічно й обґрунтовано виконують прогнозування з високим відсотком довіри. Проте можливі варіанти нових підходів до використання фактичних даних, деталізація досліджень та розширення методів прогнозування. Що стосується застосування геофізичних методів і використання геофізичних чинників для дослідження просторово-часових характеристик зсувів, то вони виконуються на локальному рівні. Дослідження поширення зсувних процесів на

регіональному рівні та відповідно їхнього прогнозування вирішується у представленій дисертації.

Виходячи з цього, сформульовані мета і завдання досліджень, наведених в дисертації: дослідження просторово-часових геофізичних та супутніх чинників для прогнозування активізації зсувних процесів. Це завдання буде виконуватись на основі комплексу геофізичних чинників, таких як сонячна активність, сейсмічність та супутніх чинників – рівні ґрунтових вод, атмосферні опади, температура повітря.



## РОЗДІЛ 2. УРАЖЕНІСТЬ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗСУВАМИ. ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ЗА ГЕОЛОГІЧНИМИ, ТЕКТОНІЧНИМИ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЧНИМИ ЧИННИКАМИ

### 2.1. Ураженість території та наслідки

Карпатський регіон України є одним з найбільш уражених зсувними процесами [1]. Дане дослідження присвячене вивченню природних умов поширення зсувів в Закарпатській та Чернівецькій областях, як найбільш уражених зсувними процесами.

Територія Закарпатської області охоплює гірську частину Українських Карпат (~70%), що характеризується найбільш високою динамікою геологічного середовища (ГС), та рівнинну частину Закарпатської низовини. Згідно [1] зсувні процеси у 2019 р. вивчалися на ділянках 1 категорії, що представляють собою частини інженерно-геологічних областей, які характеризуються найбільшою ураженістю ЕГП. Це окремі території середньо- та низькогірських Вододільно-Верховинських Карпат, середньовисотних Полонинсько-Чорногірських хребтів, високогір'я Вигорлат-Гутинського пасма. Станом на 01.01.2020 р. на території області закартовано 3288 зсувів загальною площею 385,21 км<sup>2</sup>. У 2019 році було обстежено 52 зсуви, зафіксовано 6 активних зсувів загальною площею 0,030096 км<sup>2</sup>, з них, 2 зсуви, загальною площею 1956 м<sup>2</sup> – активні новоутворені, а 4 - активізовані древні або сучасні зсуви, загальною площею 28,14 тис.м<sup>2</sup>. Аномальна кількість атмосферних опадів протягом 21-23 травня, коли на Закарпатті випало близько 120 мм опадів (місячна норма), зумовила локальну активізацію зсувів на території Рахівського, Тячівського, Свалявського та Перечинського районів. Невеликий зсув (площа 300 м<sup>2</sup> та глибина закладання 3 м), утворився між селами Нересниця та Ганичі Тячівського району, в результаті чого, зсувним матеріалом була

загромаджена ділянка автошляху обласного значення Тячів – Дубове -Усть-Чорна. Ще один новий зсув, площею 1656 м<sup>2</sup>, закартовано в правому борту р.Бальзатул (права притока р.Біла Тиса, Рахівський район), що утворився через підрізку схилу бічною ерозією. У зоні дії зсуву господарські об'єкти відсутні, практично весь зсувний матеріал розмитий течією. Відмічена активізація одного сучасного зсуву площею 10000 м<sup>2</sup> та часткова активізація одного древнього зсуву на площі 5000 м<sup>2</sup>. Зсувами пошкоджено ділянки автошляху Поляна - Перечин поблизу с. Оленьово Свалявського району (біля 30 м дороги) та с. Свалявка Перечинського району (біля 80 м). Часткова активізація древніх зсувів відмічена також за межами с.Калини (площа 10340 м<sup>2</sup>) та с.Усть-Чорна (площа 2800 м<sup>2</sup>) Тячівського району. У першому випадку зсувом зруйновано близько 100 м автошляху обласного значення Калини – Верхнє Водяне, а в другому випадку майже весь зсувний матеріал розмитий течією. Загалом у межах області за минулий рік спостерігалася тимчасова стабілізації процесу зсувоутворення.

На території Чернівецької області спостереження у 2019 р. за даними [1] проводились на окремих ділянках розвитку зсувів. Зареєстровано 1467 проявів, більшість з яких є тимчасово-стабілізованими давніми зсувами. Їх загальна площа складає 760.2 км<sup>2</sup>. Потенційну небезпеку на забудованих територіях становлять 570 зсувів. У 2019 році локальні осередки незначної активізації зсувних процесів відмічені в населених пунктах Новоселицького, Сторожинецького та Кіцманського районів. У с. Подвірне Новоселицького району на зсувних схилах спостерігалась активізація у кінці червня на початку липня 2019 р., відмічені незначні тріщини в житлових будинках. Після паводкового періоду, у травні-червні 2019 р. проявилась незначна активізація зсувних процесів у с. Кам'яне Сторожинецького р-ну. Відмічені тріщини полотна автодороги Чернівці – Сторожинець, у зоні впливу зсувних процесів знаходиться лінія ЛЕП. На західній околиці с. Біла Кіцманського р-ну у весняно-літній період спостерігалась активізація зсувних процесів у

районі водогонів. Тут відмічені деформації труб, прориви води на водогоні. Значну роль в активізації зсувного процесу відіграє техногенний чинник. У м. Чернівці по вул. Золочівський знаходиться активізована зсувна ділянка. Зсув періодично активний з 2016 р. Остання активізація зафіксована в жовтні 2019 р., чинники активізації – підтоплення каналізаційними стоками та діяльність глиняного кар'єру, який розташований на північ по схилу. Загалом на території області в 2019 р. продовжувалась тимчасова стабілізація зсувних процесів, які були активізовані у 2008 та 2010 роках [1].

Сучасна активізація зсувів на схилах часто пов'язана з розвитком супутньої ерозії, яка підсилює розвиток основного процесу. Серед домінуючих природних чинників активізації необхідно виділити метеорологічні (атмосферні опади, температура), гідрологічні (підняття рівнів та зміна витрат води в поверхневих водотоках, рівні води та хвильовий режим морів, озер, інших водойм, ерозійна дія поверхневих вод і відповідний підмив та розмив язикових частин зсувів), гідрогеологічні (рівні, хімічний склад, умови живлення та дренажу підземних вод), сейсмічні (землетруси), а також техногенні чинники – неконтрольована прибережна забудова, вирубка лісів.

Не дивлячись на те, що за останнє десятиліття відбулася певна стабілізація розвитку зсувів, проте аномальні дощі, які спричинили паводок у західній Україні в червні 2020 року, призвели до нової активізації в гірських районах та на прибережних схилах річок [31-32]. Зсувами були пошкоджені автомобільні та сільські дороги, мости, житлові будинки (рис. 2.1).

Як бачимо лише за останні 22 роки було 5 періодів активізації зсувів у західному регіоні України.

Для виявлення комплексу зовнішніх чинників на умови формування зсувів виконано аналіз впливу геологічної будови з урахуванням інженерно-геологічного районування та морфологічних особливостей рельєфу на характеристики зсувів із подальшим їх статистичним аналізом. Вирішення

поставленої задачі виконувалось поетапно: 1) районування території для визначення закономірностей поширення та розвитку зсувів за допомогою ГІС-технологій (побудова карт за відповідним районуванням та підрахунок



Рис. 2.1. Зруйнований житловий будинок та розмита дорога 29.06.20 р.  
(Міжгірський район, Закарпатської області) [32].

кількості зсувів у кожній інженерно-геологічній області та в кожному інженерно-геологічному районі, розрахунок площі території, що уражена зсувами, відстані до базису ерозії, визначення експозиції схилу); 2) аналіз поширення зсувів з урахуванням інженерно-геологічного та

тектонічного районування та відносно експозиції схилу; 3) статистична обробка характеристик зсувів, яка полягала у визначенні законів розподілу, кореляційному та кластерному аналізах для визначення впливу зовнішніх чинників на формування зсувів; 4) аналіз впливу крутизни повздовжнього профілю на формування різних типів зсувів.

## **2.2. Градація ураженості зсувами відповідно до інженерно-геологічного районування**

Поширення та інтенсивність розвитку екзогенно-геологічних процесів, зокрема зсувів, контролюється тектонічним, сейсмічним режимом території, особливостями геологічної та геоморфологічної будови, гідрогеологічними умовами. За основу аналізу інженерно-геологічних умов території України прийнятий формаційний принцип, який найбільш повно відображає основні особливості та просторові закономірності цих умов, поєднуючи їх у певні формації - генетичну сукупність фацій, регіональне літолого-структурне утворення з відносною витриманістю й однорідністю інженерно-геологічних властивостей у природних і техногенних умовах. Відповідно до формаційного принципу аналізу геологічної будови території України В.С. Пономарем розроблена схема регіонально-зонального інженерно-геологічного районування [103], згідно якої виділяються регіони за структурно-тектонічними ознаками, в межах регіонів – області за однорідними геоморфологічними умовами, райони в межах областей.

Інженерно-геологічне районування як спосіб імовірного репрезентативного представлення даних, а головне, їх точних моделей прогнозу базується на оцінці геолого-геоморфологічних умов розвитку зсувів, ступеня стійкості схилів відносно розвитку зсувів і приводиться до рівня районів або підрайонів.

Районування території необхідне для визначення закономірностей розповсюдження та розвитку екзогенно-геологічних процесів, зокрема зсувів.

Райони виділяються за характером відкладів і базисом ерозії. Яружна ерозія може розглядатися як регіональний чинник, який разом з атмосферними опадами провокує розвиток зсувів через тісний зв'язок цих процесів. Типи районів встановлюють за літологічним складом порід, оскільки саме він формує фізико-механічні властивості порід, визначаючи швидкість і механізм розвитку зсувів. Це завдання виконувалось в ГІС MapInfo – побудова карти інженерно-геологічного районування з нанесенням контурів регіонів і областей. Далі виконується робота по типізації схилів за певними ознаками, серед яких - генетичний тип (схили ерозійні, ерозійно-зсувні, зсувні), крутизна схилу, для схилів, що підмиваються рікою, виконується типізація за висотою підрахунок кількості зсувів, в кожній інженерно-геологічній області, в кожному інженерно-геологічному районі, структурно-тектонічній одиниці, розрахунок площі території ураженої зсувами (рис. 2.2).

Для порівняльної характеристики розвитку зсувних процесів в Карпатському регіоні вибрано дві області - Закарпатську та Чернівецьку. Зазначені адміністративні області відрізняються фізико-географічним розташуванням та геолого-тектонічними умовами. Вони підпадають під три інженерно-геологічних регіони: Закарпатський внутрішній прогин (З), Карпатська гірськоскладчаста система (Ж), Волино-Подільський регіон (А). На території досліджень виділено 7 інженерно-геологічних областей, у межах яких виділено 15 інженерно-геологічних районів.

Райони охоплюють частину областей, що мають відносно однорідні рельєфні умови, схожу геологічну будову з деяким певним числом споріднених генетичних комплексів четвертинних відкладів і характерними особливостями ураженості території геологічними процесами [103].

Досліджуваний регіон характеризується зональністю з північного заходу на південний схід. У цьому напрямку розташовані основні інженерно-геологічні одиниці (рис. 2.2).

Опрацьована просторова база даних (ДНВП “Геоінформ України”) по Закарпатській області становила 2339 зсувів, по Чернівецькій області 1119 зсувів (всього 3458).

Згідно кадастрових даних, більшість зсувів за механізмом зміщення належать до двох типів – зсувів течії та блокового ковзання (табл. 2.1). Розрихлений верхній шар флішових порід, сильні, довготривалі опади, близький рівень залягання ґрунтових вод, середня крутизна рельєфу 15°-20° спричиняють зсуви-течії. Найбільше розповсюджені зсуви-течії в інженерно-геологічних районах № 123-124, 131, 134, 135, де зареєстровано загалом 1647 такого типу зсувів [14].

Таблиця 2.1.

Класифікація за механізмом зміщення зсувів відносно інженерно-геологічних регіонів та областей

Тип зсуву	З-1	З-2, З-3	Ж-1, Ж-2	Ж-3	Ж-4	А-4	Всього			Відсоток від зареєстрованих в даному регіоні		
							Ж	З	А	% Ж	% З	% А
течія	21	76	748	64	294	350	1106	97	350	48.5	11.8	98.3
блокове ковзання	62	95		144	447		591	157		25.9	19.1	
видавлювання		6		2	6		8	6		0.4	0.7	
не визначений	29	532		246	329	6	575	561	6	25.2	68.3	1.7

Відклади Східно-Європейської платформи характеризуються майже горизонтально залягаючими осадовими породами протерозойського, палеозойського, мезозойського і кайнозойського віку. Четвертинні породи в межах південно-західної околиці Східно-Європейської платформи (Волино-Подільський регіон (А)) мають широке, майже повсюдне розповсюдження. Найбільш широко представлені елювіальні й елювіально-делювіальні нагромаджені у вигляді гальки, щебеня, глин, суглинків, торфу, пісків. Потужність алювіальних відкладів складає від 1,0-2,0 м до 15,0-20,0 м. З цими відкладами пов’язана більшість зсувів, які розвиваються на схилах рік і

струмків. Зареєстровано 356 зсувів-течії, потужність основних зсувних порід, як правило, контролюється потужністю делювіальних відкладів і становить в середньому 3,6 м, змінюється від 1 м до 10 м, середні розміри зсувів 136×420 м, при крутизні схилу 21,3°, абсолютні відмітки зсувів  $\approx$ 219 м (табл. 2.2).

Стратиграфо-генетичні комплекси відкладів Карпатської гірської області (Ж) представлені різноманітним набором осадових, магматичних і метаморфічних порід протерозойського, палеозойського, мезозойського і кайнозойського віку.

Нижньокрейдові відклади мають широкий розвиток на території середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських хребтів Ж-4 №131, 134 та середньо та низькогірних масивах Вододільно-Верховинських Карпат Ж-3 №129, 130. Представлені глинистою товщею зі значним вмістом мергелистих прошарків. Зустрічаються пісковики, вапняковисті аргіліти, алевроліти. Потужність порід нижньої крейди складає від 200 до 400 м. У відкладах нижньої крейди відмічені зсувні процеси.

Серед різноманітних літолого-фаціальних різновидностей крейдових відкладів найбільш сприятливим середовищем розвитку екзогенних геологічних процесів є породи тонкоритмічного двохкомпонентного флішу, який легко піддається процесам вивітрювання і може бути середовищем розвитку декількох генетичних типів зсувів (течії, блокового ковзання, видавлювання). На території інженерно-геологічних областей Ж-3, Ж-4 розвиваються зсуви блокового ковзання і течії (табл. 2.2).

Кайнозойська група (KZ) в межах Карпатської складчастої області характеризується товщею осадових відкладів, більша частина з яких зім'ята в різноамплітудні складки і розбита складною системою розломів, ускладнена насувами.

Відклади палеогенової системи (P) широко розвинені в межах Карпатської складчастої області, представлені флішем і є основою зсувних схилів. Відмічається повний розріз палеогену, що представлений трьома



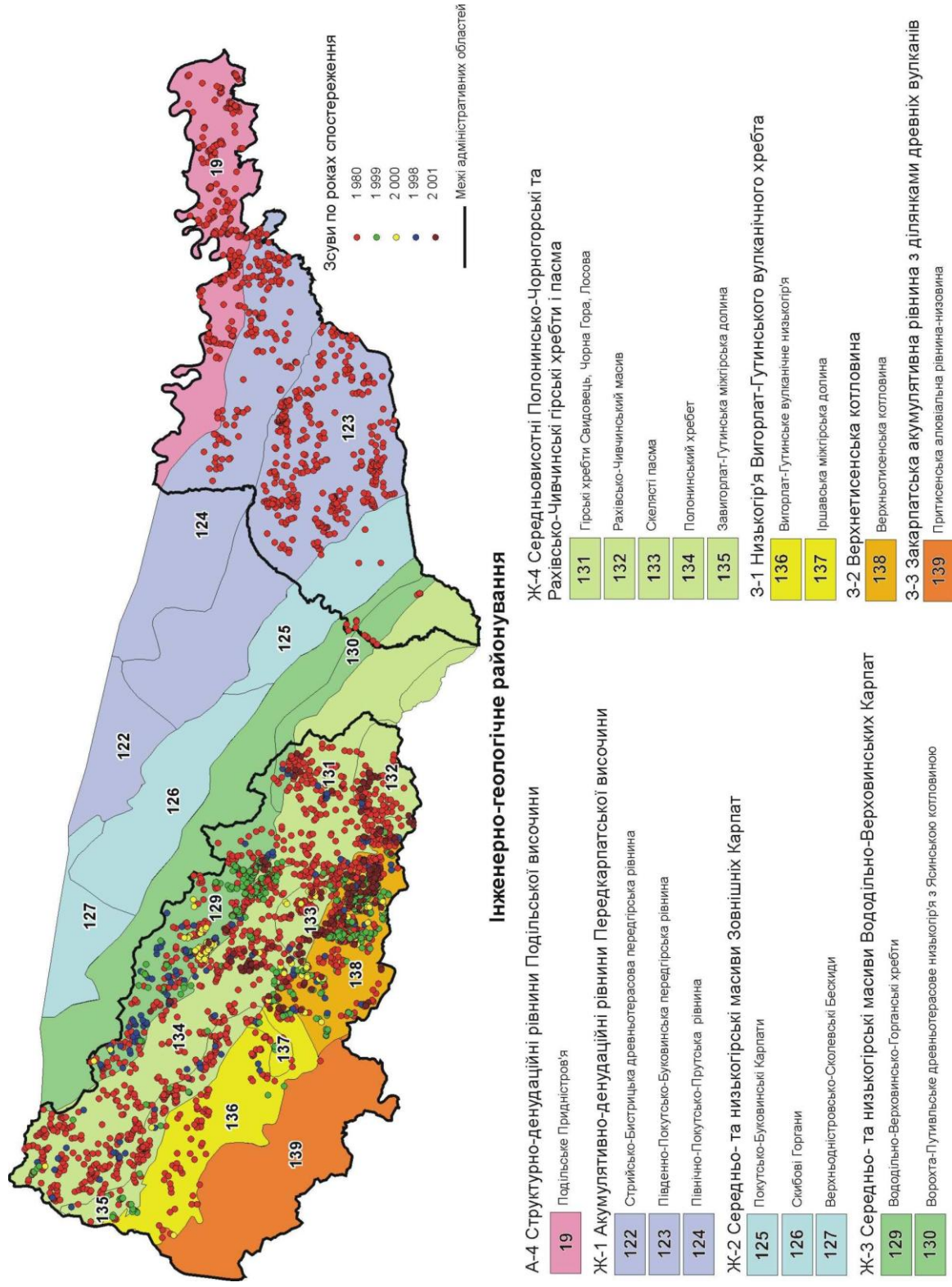


Рис. 2.2.2. Схема інженерно-геологічного районування Закарпатської та Чернівецької областей

відділами: палеоцену, еоцену, олігоцену.

Найбільш древніми відкладами палеоцену ( $P_1$ ) в межах Карпатської складчастої області є відклади ямненської світи (сірі кварцові пісковики, дрібнозернисті слюдисті, товстошаруваті). Вони мають широке розповсюдження в Скибовій зоні Карпат. Потужність світи 275-350 м. Пісковики утворюють обвали. Середня потужність відкладів палеогену складає 300-400 м, рідше до 600-800 м.

Еоценові відклади ( $P_2$ ) у вигляді смуги північно-східного простягання розповсюджені в Скибовій зоні Карпат і представлені манявською, вигодсько-пасічнянською світами, в межах яких відмічається широкий розвиток блокових зсувів та зсувів-течії. З відкладами бистрицької світи пов'язаний розвиток ряду структурно-тектонічних зсувів. Таким чином, еоценові породи є сприятливим середовищем для розвитку екзогенних процесів завдяки наявності в розрізі прошарків легкоруйнівних аргілітів. Особливо сильно зсувним процесам піддаються відклади середньо та низькогірних масивів Вододільно-Верховинських Карпат Ж-3 №129, 130, в межах привододільних частин. Потужність еоценових відкладів коливається в межах від 300 до 1000 м.

Відклади олігоцену ( $P_3$ ) мають широкий розвиток і відіграють досить значну роль в процесі розвитку ЕГП. Породи олігоцену розповсюджені на території середньо та низькогірних масивів Зовнішніх Карпат Ж-2 № 125, середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських хребтів Ж-4 №131, 134 та середньо та низькогірних масивів Вододільно-Верховинських Карпат Ж-3 №129, 130. В Ж-2 і Ж-3. Вони представлені потужною товщею сірих піщано-глинистих порід з пачкою менілітових відкладів в основі. Для розвитку ЕГП найбільшу роль відіграють породи менілітової світи потужністю 120-150 м, яка складена глинистим флішем (листуваті чорні аргіліти, що чергуються з прошарками сірих міцних пісковиків і алевролітів). Характерними для розрізу є прошарки доломітів,

Таблиця 2.2.

## Середні значення параметрів зсувів з урахуванням інженерно-геологічного районування

№ п/п	Інженерно-геологічне районування	Кількість зсувів	Абсолютна відмітка зсуву, м		Крутизна поздовжнього профілю, градуси	Відстань до бази ерозії, м		Довжина, м	Ширина, м		Площа, м <sup>2</sup>	Висота стінки відриву, м		Потужність, м												
			мін.	макс		мін	макс		мін	макс		мін	макс		мін	макс										
1	3-1 №136	100	409	141	1030	19,5	6	50	419	53	1548	418,7	10	1500	348	15	1200	162603	150	796875	5,4	1	25	16,1	1	100
2	3-1 №137	12	406,5	183	985	15,8	8	20	398	43	929	321,7	30	900	248	50	750	158885	3000	543750	3,2	1	5	9,2	1	20
3	3-2 №138	702	471,2	145	1190	25	2	70	366	3,9	1654	270	2	2000	201	1	2000	80941	2	1600000	3,2	1	60	6,7	1	70
4	3-3 №139	7	379,3	145	1190	22,9	15	40	578	180	979	332,9	30	750	560	120	1000	201098	31250	500000	3,6	1	7	10,6	2	20
5	Ж-1 №123	558	329,2	143	515	16,4	5	40	324	0,5	2012	356,5	25	3500	1049	50	1300	492626	1500	8160000	3,8	1	28	5,6	1	30
6	Ж-1 №124	186	212,2	138	785	17,9	6	40	369	0,5	1981	298,7	12	5250	1044	42	2100	412538	504	8800000	2,6	1	9	4,2	1	15
7	Ж-2 №125	5	541,1	307,5	801	21	10	25	202	20	415	238	100	550	468	170	850	142980	20400	467500	2	1	3	2,8	1	4
8	Ж-3 №129	422	627	160	1485	26,3	4	60	259	2,8	1232	269,2	3	2200	247	2	2000	107309	20	1312500	5	1	40	11,2	1	100
9	Ж-3 №130	34	720,7	348	1005	22,1	10	45	290	6,4	724	381,5	30	850	332	20	1250	178394	750	1093000	6,1	1	15	13,2	2	40
10	Ж-4 №131	194	815,9	240	1710	26,4	6	70	383	0,6	1226	628,8	7	2900	477	10	2200	355980	70	3000000	8	1	30	19,2	1	90
11	Ж-4 №132	75	701,7	240	1550	30,5	12	50	398	3,8	1069	509,5	15	2000	409	15	1600	222295	500	1300000	6,4	1	40	15,3	1	60
12	Ж-4 №133	98	573,6	300	1195	25,4	14	60	353	7,3	1142	561,7	10	1000	235	10	1200	165108	100	2093750	3,5	1	11	9,3	1	30
13	Ж-4 №134	558	544,4	160	1337	26,3	7	50	324	4,9	1400	427,7	10	2700	336	10	2900	165005	100	3668750	4,4	1	25	12,4	1	88
14	Ж-4 №135	151	364,8	210	925	20,7	5	50	364	39	1094	317,3	2	1200	245	8	1000	76658,8	16	421875	3,6	1	15	11,4	1	50
15	А-4 №19	356	218,8	135	335	21,4	7	85	172	0,5	1370	174	2	1500	497	2	15000	107868	28	7500000	2	0,5	10	3,6	1	10

мергелів, туфів [103]. Всього на даній території зафіксовано 1213 зсувів.

Середні характеристики: абсолютні відмітки 544,6 – 816 м, потужність відкладів 11,2 – 19,2 м, середні розміри зсувів 427×348 м, крутизна схилів 26,3° (табл. 2.1). В межах зазначених територій відмічаються зсуви-блокового ковзання – 591 та зсуви-течії – 1106 (табл.2.2).

Акумулятивно-денудаційні рівнини Передкарпатської височини (Ж1 № 123, 124) відзначаються незначними висотами зсувів (212-329 м), складені товщею осадових неогенових відкладів, які представлені піщано-глинистою соленосною товщею, мергелями, пісковиками, конгломератами і сланцями. Породи дислоковані. Неоген перекритий четвертинними алювіальними, алювіально-делювіальними відкладами, які нагромаджуються в річкових долинах.

Середньо- та низькогірні масиви Зовнішніх Карпат (Ж-2 №125), середньо- та низькогірні масиви Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3 № 129,130), середньовисотні Полонинсько-Чорногірські та Рахівсько-Чивчинські хребти (Ж-4 №131-135) характеризуються, в основному, низькими та середньовисотними відмітками зсувів 365-816 м. Ці гірські хребти являють собою тектонічні скиби, складені флішовими породами крейдового та палеогенового віку: глинистими сланцями, пісковиками, аргілітами, алевролітами. Різко дислоковані, розбиті розломами та насувами.

Покутсько-Буковинські Карпати (Ж-2 №125). Це середньовисотні (абсолютні відмітки зсувів в середньому складають 541 м), як правило, асиметричні, гірські хребти, що являють собою тектонічні скиби. У їх будові беруть участь флішові породи крейдового і палеогенового віку: глинисті сланці, пісковики, аргіліти й алевроліти, які різко дислоковані, розбиті розломами та насувами.

Вододільно-Верховинсько-Горганські хребти Ж-3 № 129 з середніми абсолютними висотами зсувів 627 м, відзначаються крутими схилами (26,3°) з кам'яними осипищами, що розчленовані глибокими, терасованими

долинами. Ворохта-Путивльське древньотерасове низькогір'я з Ясинською котловиною Ж-3 № 130 – представляє середньогірний рельєф – абсолютні відмітки зсувів в середньому 720.7 м). Широко розвинуті блокові зсуви ковзання 144 та зсуви-течії 64 (табл. 2.1).

Райони Ж-4 (№ 131, 132) найбільш високі з середніми абсолютними висотами зсувів 402-816 м, складені флішовими породами крейдового та палеогенового віку. На південному схилі Полонинського хребта виділяються скелясті пасма з крейдових і юрських конгломератів, вапняків. У геологічній будові Рахівсько-Чивчинського масиву (№ 132) головну роль відіграють сильно дислоковані палеозойські інтрузивні та метаморфічні породи — граніти, кристалічні вапняки, сланці, пісковики. Поширені також тріасові конгломерати, доломіти, юрські вапняки, крейдові сланці та пісковики.

Закарпатський регіон складається з вулканічного Вигорлат-Гутинського пасма (З-1 № 136-137), Верхньотисенської котловини (№138). Їх формування і розвиток ландшафтів тісно взаємопов'язані й взаємозалежні. Вулканічне пасмо (№ 136-137) складене андезитами, андезито-базальтами і туфами. Середні висоти зсувів 407-472 м. В передгір'ї та на схилах вулканічного пасма формуються невеликі за об'ємом зсуви, що розвиваються в глинистих породах пліоценової кори вивітрювання (обводнені та роздроблені глинисті та суглинисті породи елювіально-делювіальних відкладів). Активізація їх пов'язана з техногенною діяльністю людини, рідше з аномальним зволоженням порід схилу [78]. Найбільше зсувів – 702 зареєстровано у Верхньотисенській котловині (З-2 №138). Абсолютні відмітки зсувів змінюються в межах 379,3 – 472 м, потужність 10,6 м, розміри 336×338 м, крутизна схилів 20,8°. Поширені зсуви - блокового ковзання – 157 та зсуви-течії – 97.

У роботі [77] сказано, що розповсюдження гравітаційних процесів визначається такими структурно-тектонічними умовами, як наявність насувних зон, що розмежовують структурні елементи першого порядку, а також сейсмогенеруючих поперечних та діагональних розломів. При цьому

в принасувних зонах, а також у вузлах перетину поздовжніх та поперечних розривних дислокацій формується та розвивається понад 70% зсувів та обвалів. В умовах сильно розчленованого рельєфу з крутим падінням порід вода по тріщинах потрапляє на площини нашарування, при цьому зчеплення порід по нашаруванню значно зменшується, створюючи умови для зміщення крупних блоків, особливо за наявності неотектонічних рухів та коли падіння порід збігається з напрямком нахилу поверхні схилу. Таким умовам підлягають схили інженерно-геологічних районів № 129 (Ж-3), 131-134 (Ж-4), 138 (З-2), де зафіксовано найбільше зсувів блокового ковзання (табл.2.1). Це Вододільно-Верховинсько-Горганські, Середньовисотні Полонинсько-Чорногірські та Рахівсько-Чивчинські хребти, Верхньотисенська котловина. Для цих територій характерні такі параметри зсувів (середні значення): кути нахилу поздовжнього профілю  $25^{\circ}$ -  $30.5^{\circ}$ , іноді сягають  $70^{\circ}$ , абсолютні відмітки 471 м - 816 м, довжина зсувів 417 м, окремі простягаються до 2700 м, висота стінки зриву 3,2 - 8 м, потужність зсувних мас 6,7 – 19,2 м.

Отже, аналізуючи розвиток зсувів за механізмом зміщення, бачимо, що зсуви-течії розвиваються переважно в алювіально-делювіальних відкладах рівнин, зсуви блокового ковзання та видавлювання – у породах двокомпонентного флішу (крейдяного та палеогенового віку) та в сильно дислокованих палеозойських породах – гранітах, кристалічних вапняках, сланцях, пісковиках гірських масивів.

Аналіз ураженості зсувами відносно інженерно-геологічного районування (рис. 2.3) свідчить, що найбільші площі охоплення зсувами характерні для Передкарпатського прогину (Ж1 №123, 124) – сумарна ураженість 7,75% – розвиток зсувів відбувається у четвертинних алювіальних, алювіально-делювіальних відкладах, які нагромаджуються у річкових долинах; регіон Складчастих Карпат (Ж2, Ж3, Ж4) уражений зсувами на 2,97%, зсуви розвиваються у флішових породах, на межі стику структурно-тектонічних зон, за типом зміщення переважають зсуви-течії та зсуви блокового ковзання. Для Закарпатського внутрішнього прогину (З) загальна ураженість

зсувами становить 1,34%, зсуви розвиваються в обводнених та роздроблених глинистих породах елювіально-делювіальних відкладів та у корі вивітрювання вулканічних порід.

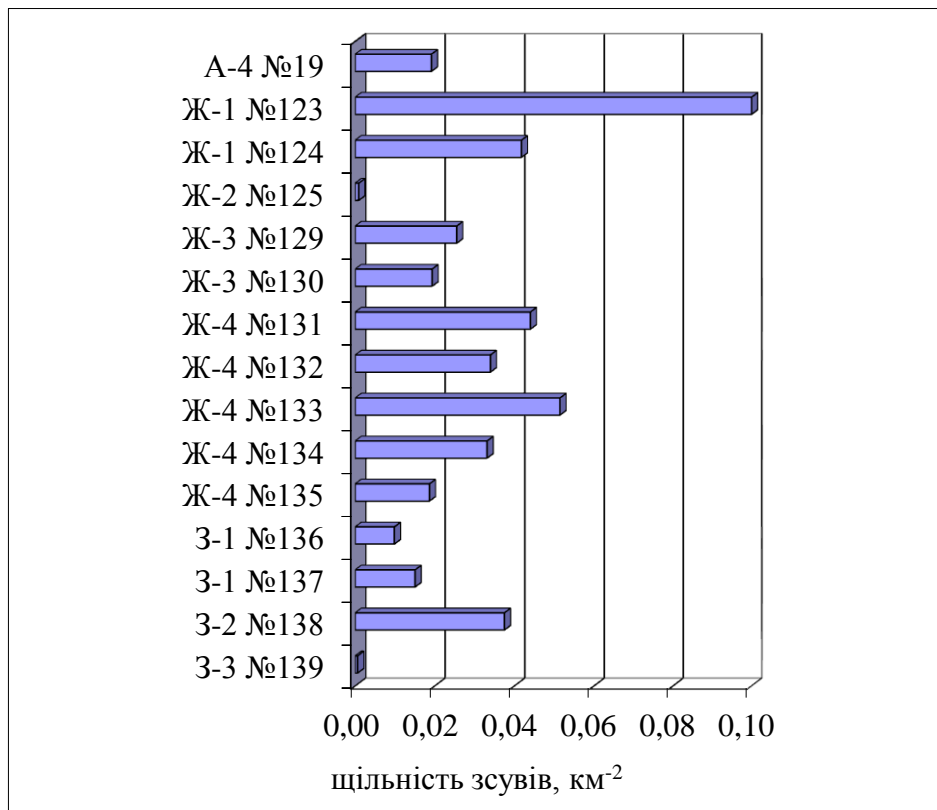


Рис. 2.3. Ураженість зсувами відносно інженерно-геологічного районування

Як постійний чинник, що обумовлює тенденції розвитку екзогенних геологічних процесів, може розглядатися тектонічна будова території. У межах території західних областей України виділяються чотири регіони: південно-західна околиця Східно-Європейської платформи, Передкарпатський передовий прогин, Складчасті Карпати, Закарпатський внутрішній прогин. Розвиток зсувів кожного геоструктурного регіону має зв'язок із його тектонічною будовою, у якому зсувопрояви мають різну інтенсивність, динаміку, тенденцію до подальшого розвитку і площу розвитку.

Схема тектонічного районування Закарпатської та Чернівецької областей приведена на рис.2.4 ураженість (щільність зсувів на квадратний



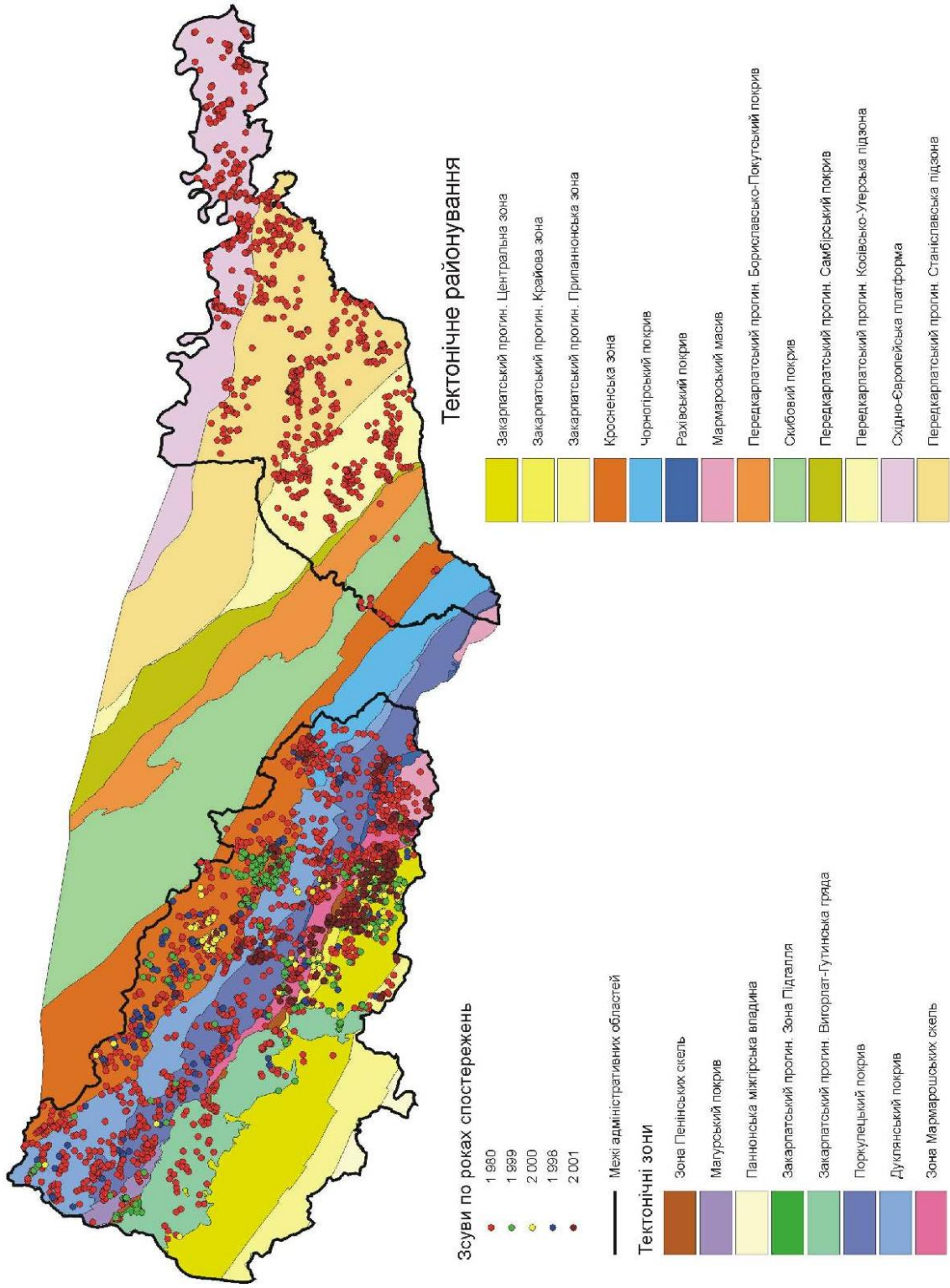


Рис. 2.4. Схема тектонічного районування Закарпатської та Чернівецької областей



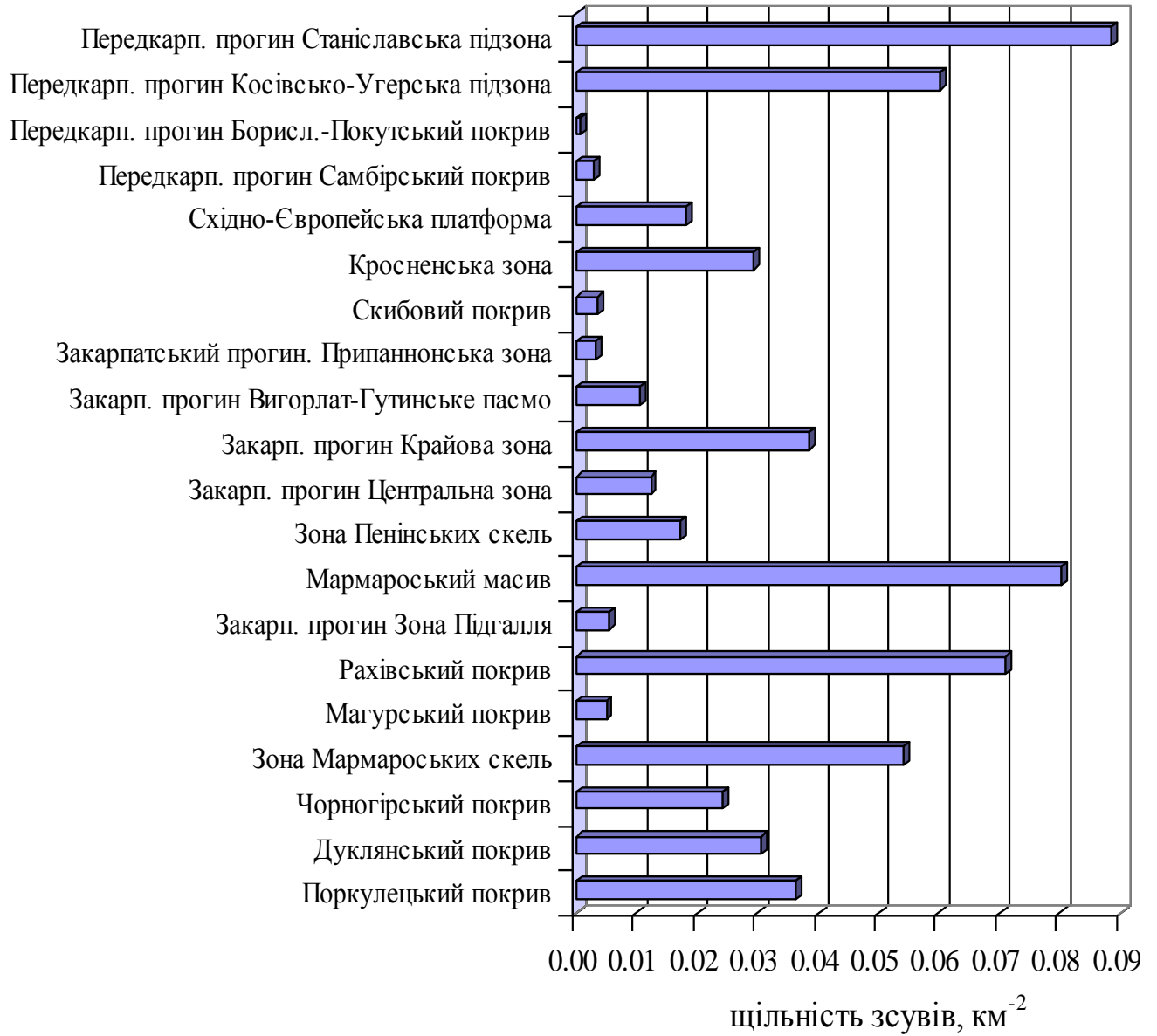


Рис. 2.5. Розподіл щільності зсувів відносно структурно-тектонічних одиниць (в межах адміністративних областей).

Таблиця 2.3.

## Середні значення параметрів зсувів з урахуванням тектонічного районування

№ п/п	Тектонічні зони	Кількість зсувів	Абсолютна відмітка зсуву, м	мін.	макс	Крутизна поздовжнього профілю, градуси	мін	макс	Відстань до бази ерозії, м	мін	макс	Довжина, м	мін	макс	Ширина, м	мін	макс	Площа, м <sup>2</sup>	мін	макс	Висота стінки відриву, м	мін	макс	Потужність, м	мін	макс	
Закарпатський прогин																											
1	Припанноньська зона	18	556.7	210	1080	20.4	15	30	271	43.2	569	471.4	10	1600	324.4	15	1000	154560	150	512500	5.1	1	17	13.4	1	35	
2	Центральна зона	470	464.5	145	1160	25.3	2	70	378	3.9	1654	238	4	2000	181	4	1300	67623	16	1600000	2.7	1	15	5.6	1	40	
3	Крайова зона	80	462.5	160	1050	24	6	46	336	21.5	1092	80	10	1500	221.2	10	1350	78659	150	500000	4.05	1	60	6.75	1	35	
4	Зона Підгалля	4	380	250	560	16.3	10	25	248	102	474	93.8	15	250	65	30	100	20462	450	75000	3	3	3	3.75	1	12	
5	Вигорлат-Гутинське пасмо	91	407.8	141	1190	19.6	6	40	449	76.9	1548	402	2	1500	360.9	1	1200	165009	24	796875	5.6	1	25	16.5	1	100	
6	Зона Пенінських скель	22	529.2	320	1060	24.6	5	40	251	29	1021	217.8	2	800	160.8	8	630	75430	16	487000	2.8	1	8	5.7	1	25	
7	Зона Мармароських скель	220	486.6	200	1040	23.3	3	70	363	10.1	1378	398.5	7	2000	228.6	8	2000	126008	70	1400000	3.9	1	20	10	1	70	
8	Мармароський масив	55	679.3	240	1550	28.9	12	70	515	3.8	1226	674.8	10	2900	487.3	10	2000	408681	150	2500000	8	1	40	17.4	1	45	
9	Рахівський покрив	27	649.2	260	1150	30	14	45	457	157	880	646.3	25	2000	496.3	20	1600	364505	500	2550000	5.8	1	16	15	1	40	
10	Чорногірський покрив	24	991.8	745	1710	26.7	20	35	284	7.6	551	691.7	200	2000	517.1	150	1150	507021	4000	3000000	10	3	20	22	6	35	
11	Магурський покрив	18	323.3	210	720	25.2	15	35	299	75.2	687	232.5	10	500	198.9	15	500	42783	150	156250	2.8	1	6	8	1	20	
12	Поркулецький покрив	431	512.7	160	1635	24.7	5	50	345	1	1400	426.5	10	2000	321.3	10	2500	158600	100	2093750	4.7	1	40	13.2	1	88	
13	Дуклянський покрив	296	640	220	1590	25.8	6	60	332	1.9	1358	495.5	10	2700	390.3	10	2900	199550	100	1742188	5.6	1	99	14.5	1	90	
14	Кросненська зона	588	632.5	160	1485	26.8	4	60	274.7	2.75	1232	302.7	3	2200	267.9	2	2200	122352	20	3668750	5.3	1	88	11.5	1	100	
15	Скибовий покрив	11	577.7	200	1040	22.9	18	30	161	20	374	287.3	110	800	331.8	170	900	140623	20400	356250	3.7	1	10	9.5	2	30	
Передкарпатський прогин																											
16	Станіславська підзона	478	245.2	138	785	17.9	5	40	367	0.5	2012	361.1	12	5250	1093	42	8000	557535	504	8800000	3.9	1	28	5.7	1	30	
17	Косівсько-Угерська підз	261	397.3	238	815	14.6	5	40	269	2.28	1325	312.6	30	3500	785.9	50	6200	326973	1500	4400000	2.8	1	15	4.3	1	15	
18	Самбірський покрив	5	478.5	438	510	17	10	25	713	559	829	158	120	200	272	80	500	43320	9600	80000	2.6	1	4	3.4	2	5	
19	Бориславсько-Покутські	2	766.5	733	801	25	25	25	351	286	415	200	100	300	535	450	620	98500	62000	135000	2	1	3	2.5	1	4	
20	Східно-Європейська платформа	357	218.8	135	335	21.4	7	85	173	0.5	1370	136	2	1500	421.5	11	2500	107642	28	750000	2	1	10	3.6	1	10	

кілометр – відношення площі зсувів до загальної площі структурно-тектонічної одиниці в межах адміністративних областей) зображена на рис. 2.5, а геометричні та геоморфологічні характеристики зсувів з урахуванням тектонічного районування представлені в табл. 2.3.

Динаміка активізації зсувів з урахуванням тектонічного районування (рис. 2.5) свідчить, що найбільший розвиток зсувів характерний для покривно-лускового стилю тектоніки, коли породи зім'яті у складки, розділені крутими насувами, ускладнені повздожніми розривами, розломами (Кросненська зона (588), Станіславська підзона (478), Центральна зона (470), Поркулецький (431) та Дуклянський (296) покриви, а також зона контакту Східно-Європейської платформи з Передкарпатським прогином (357), яка контролюється тектонічними розломами).

За площею ураженості зсувами відносно тектонічного районування (рис. 2.5) ми спостерігаємо таку тенденцію – коефіцієнт ураженості від 5% до 9%, тобто щільність зсувів на км<sup>2</sup> рівна і більша 0,05 відноситься до Станіславської підзони Передкарпатського прогину (щільність зсувів на км<sup>2</sup> становить – 0,09, Мармароського масиву – 0,08, Рахівського покриву – 0,07, Косівсько-Угерської підзони Передкарпатського прогину – 0,06, Зони Мармароських скель – 0,05 [14].

### **2.3. Результати застосування методу порівняльної оцінки стійкості схилів для прогнозування зсувів**

Відомо, що підстелені породи відіграють важливу роль серед причин виникнення зсувів, тому доцільно проаналізувати характеристики зсувів за різними літологофаціальними комплексами порід. Вихідні дані для проведення даних досліджень - геометричні характеристики зсувних ділянок, крутизна та експозиція схилів, потужність зсувних мас, а також відстань до базису ерозії 1136 зсувів, відомих за даними кадастру-каталогу Закарпатської геолого-розвідувальної експедиції ДП „Західукргеологія”. Розподіл зсувів проведений відповідно до основних літофаціальних комплексів. У табл. 2.4

Таблиця 2.4.

Кількісний статистичний аналіз основних характеристик зсувів Закарпаття

параметр	min	нижній квартиль	медіана	верхній квартиль	max
теригенно-вулканогенно-карбонатна товща					
<i>l</i>	25	32.5	40	220	400
<i>b</i>	20	50	80	290	500
<i>h</i>	1	2	3	3.5	4
$\beta$	20	21	24	28	30
$I_{\text{дов}} = 0.7 \quad I_{\text{гл}} = 0.075 \quad I_{\text{ущ}} = 0.037$					
туфо-глинисто-піщана рівнинна товща					
<i>l</i>	6.8	50	100	200	750
<i>b</i>	2.7	50	80	150	1000
<i>h</i>	0.15	1.5	2	3	20
$\beta$	5	20	26.5	30	70
$I_{\text{дов}} = 1.25 \quad I_{\text{гл}} = 0.02 \quad I_{\text{ущ}} = 0.025$					
глинисто-піщана рівнинна товща					
<i>l</i>	2	50	120	250	2000
<i>b</i>	1	42.5	80	150	900
<i>h</i>	0.3	1.5	2	3	20
$\beta$	5	20	25	30	50
$I_{\text{дов}} = 1.5 \quad I_{\text{гл}} = 0.017 \quad I_{\text{ущ}} = 0.025$					
глинисто-піщано-карбонатна флішоїдна товща					
<i>l</i>	3	30	50	90	1300
<i>b</i>	2	25	40	100	700
<i>h</i>	0.2	1	1.53	3	15
$\beta$	10	30	32	40	60
$I_{\text{дов}} = 1.25 \quad I_{\text{гл}} = 0.03 \quad I_{\text{ущ}} = 0.038$					
глинисто-піщана флішева товща					
<i>l</i>	2	30	50	100	1000
<i>b</i>	2	30	50	100	1000
<i>h</i>	0.58	1	2	3	10
$\beta$	5	25	30	40	70
$I_{\text{дов}} = 1 \quad I_{\text{гл}} = 0.04 \quad I_{\text{ущ}} = 0.04$					
піщано-глинисто флішева товща					
<i>l</i>	15	30	50	100	800
<i>b</i>	15	40	67	105	450
<i>h</i>	0.175	1.5	2	4	15
$\beta$	10	30	35	40	80
$I_{\text{дов}} = 0.75 \quad I_{\text{гл}} = 0.04 \quad I_{\text{ущ}} = 0.03$					
мергельно-вапняково-доломітова товща					
<i>l</i>	10	30	50	100	2000
<i>b</i>	10	30	70	150	1100
<i>h</i>	0.5	1	2.4	4	15
$\beta$	10	30	35	40	60
$I_{\text{дов}} = 0.71 \quad I_{\text{гл}} = 0.048 \quad I_{\text{ущ}} = 0.034$					

наведено кількісний статичний аналіз основних статистичних характеристик зсувів, як зазначається О.П. Ємельяною у [47], важливою характеристикою є мінімальна ширина зсувів.

Деляпсивний розвиток зсувів вверх по схилу може продовжуватись, поки ширина зсуву не буде нижчою від певної мінімальної величини. З таблиці 2.4 випливає, що для порід туфо-глинисто-піщаних, глинисто-піщаних, глинисто-піщано-карбонатних та глинисто-піщано флішових, коли ширина підрізки подошви схилу сягає 1 – 2,7 м, уже треба враховувати можливість утворення зсувів, а при ширині зсувів 25 – 80 м найбільша ймовірність їх виникнення.

Для теригенно-вулканогенно-карбонатної, піщано-глинисто флішевої та мергельно-вапняково-доломітової товщ можливість зсуву можна очікувати при ширині підрізки схилу 10 – 20 м.

Для більшості випадків зсувів (63 % від загальної кількості) характерна витягнута по довжині форма в плані (коли довжина зсуву більша його ширини  $l > b$ ). Це породи туфо-глинисто-піщаної, глинисто-піщано рівнинної, глинисто-піщано-карбонатної товщ, для яких *індекс подовженості*  $I_{\text{дов}}$ , який визначається як відношення довжини зсуву  $l$  до його ширини  $b$ , знаходиться в межах (1,25 – 1,5). Отже, в середньому, зсуви на цих відкладах витягнуті по довжині, наближаючись до глетчероподібної форми, що є типовим для зсувів поверхневого покриву. Така форма уже свідчить про те, що в даному випадку найбільш ймовірно зсування приблизно паралельне схилу, а не з глибоким його захопленням. Зсуви на території глинисто-піщано- флішевої фації циркоподібні ( $l \approx b$ ), тож  $I_{\text{дов}}=1$ . Проте, для теригенно-вулканогенно карбонатного покриву і піщано-мергельно-глинистого флішевої рівнинної товщі  $I_{\text{дов}}$  змінюється від 0,5 до 0,75, що характерно для зсувів фронтального ( $l \ll b$ ) типу.

Відношення потужності  $h$  зсуву (товщини) до його довжини  $l$  (*індекс глибини захоплення*)  $I_{\text{гл}}$ , коливається в межах від 0,017 до 0,075 при середньому значенні 0,038, тобто в середньому довжина зсувів у 30 разів

перевищує їх потужність. Невелика глибина захоплення порівняно з довжиною зсуву робить можливим використання теорії, що розглядає рівновагу нескінченно довгого (в напрямку руху) шару. Середнє значення індексу подовженості в 25 разів більше, ніж середнє значення індексу глибини захоплення, таким чином фактичні умови наближаються до розрахункової схеми зсування порід паралельно схилу.

Значення *індексу ущільненості*  $I_{уц}$  (відношення потужності зсуву  $h$  до його ширини  $b$ ) завжди менше 0.1 і змінюється від 0,025 до 0,04 при середньому значенні 0,033. Отже, ширина зсувів завжди більша в середньому в 36 разів від їх потужності. Цей факт дозволяє розглядати умови зміщення зсувних мас як площинну задачу (тобто схил є дуже довгим по лінії підосви та прямолінійним в плані).

Розраховані індекси подовженості, глибини захоплення, ущільненості підтверджують думку про те, що зсування порід на схилах Закарпаття в більшості випадків відбувається на великих за площею територіях (зсуви туфо-глинисто-піщано рівнинної, глинисто-піщано рівнинної, глинисто-піщано-карбонатно флішоїдної товщ мають глетчероподібну форму зі значними розмірами довжини (до 2000 м) і ширини (до 1000 м), де  $I_{дов} > 1$ ) з невеликою глибиною захоплення (до 4 м при середній крутизні схилу біля  $29,6^\circ$ ) і паралельно схилу, оскільки середні значення  $I_{дов} \gg I_{гл}$ .

Середня крутизна схилів  $\beta$  становить  $29,6^\circ$ , а мінімальна величина кутів укосу дуже мала  $5,0^\circ - 10,0^\circ$ , при таких кутах нахилу можливість зсування може бути обумовлена надлишковим тиском зі сторони верхньої частини зсуву.

Стійкість рихлих відкладів на схилах значною мірою визначається крім геометричних параметрів схилів їх потужністю. Із збільшенням потужності відкладів збільшуються площі поширення і росте ймовірність порушення стійкості.

Утворення зсувів у Закарпатському регіоні підпорядковуються типовим процесам, описаним в роботі [47] стосовно гірських районів з

розвитком значного рихлого покриву на нахиленій поверхні стійких порід. У цих умовах, виникають зсуви лише поверхневого типу потужністю не вище за потужність рихлого покриву і з поверхнею ковзання або зоною зміщення приблизно паралельною поверхні схилу”. Для таких умов гранична рівновага нескінченно довгого шару слабкого ґрунту потужністю  $h$ , що залягає на стійкому схилі, нахиленому під кутом  $\beta$  до горизонту, має вираз:

$$h = \frac{C}{\gamma(\sin \beta - \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi)} \quad (2.1)$$

або

$$\frac{h\gamma}{C} = \frac{1}{\sin \beta - \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.2)$$

де  $\frac{h\gamma}{C}$  - параметр безрозмірної вертикальної потужності.

Кількісний порівняльний метод можна використовувати тільки в умовах розвитку більше-менше однорідного інженерно-геологічного комплексу корінних порід, тому що тільки тоді можна вважати однорідним (в середньому) розвинутий на них покрив елювіальних, делювіальних і гравітаційних утворень. Такими однорідними комплексами обрані зони розвитку підстелених порід з однаковим літофаціальним складом. Для кожної літофації за допомогою методики підбору розраховані найбільш імовірні значення  $C$  і  $\beta$ , кута внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi$ , який визначається літологічним складом зсувних і підстелених порід. Шляхом встановлення мінімальної похибки нев'язки при розв'язанні прямої задачі визначені найбільш імовірні значення параметра  $\varphi$ . Лише для теригенно-вулканогенно-карбонатної товщі (див. рис. 2.6) кут внутрішнього тертя ґрунту відрізняється від нуля і дорівнює  $10^\circ$ . Об'ємна вага ґрунту  $\gamma$  була обрана як середня –  $1,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Таким чином, після проведення за допомогою методики підбору оцінки величини зчеплення ґрунту для зсувів з різним літофаціальним складом підстелених порід, були отримані такі середні значення (табл. 2.5).

Таблиця 2.5.

Середні значення зчеплення ґрунту  $C$  для схилів з різним літофаціальним складом порід, отриманих за методикою [47]

Літофаціальний склад підстелених порід	кут укосу, градуси	зчеплення ґрунту, $C \cdot 10^3$ кг/м <sup>2</sup>
теригенно-вулканогенно-карбонатна товща	24.5	1.48
туфо-глинисто-піщана рівнинна товща	26.6	1.65
глинисто-піщана рівнинна товща	27.8	1.88
глинисто-піщано-карбонатна флішоїдна товща	33.3	1.74
глинисто-піщана флішева товща	31.4	1.91
піщано-глиниста флішева товща	35.2	2.57
мергельно-вапняково-доломітова товща	34.5	2.55

На рис. 2.6 показані графіки так званих „середніх ліній” рівнянь залежності кутів укосу схилу від потужності зсувних мас для різних літофаціальних зон, побудованих за допомогою рівняння (2.2). Видно, що середні лінії майже не відображають особливості розподілів точок - зсувів на двохвимірних залежностях „кут укосу - товщина зсувних мас”. Граничні лінії вдовж крайніх верхніх точок, рекомендовані у роботі [47], також майже неможливо достовірно провести. Погані (вкрай слабо виражені) кореляційні зв’язки між двома величинами можуть бути обумовлені наявністю суттєвих додаткових чинників іншої природи, які також контролюють зсувні процеси.

На рис. 2.7 наведено розподіли середніх значень кутів укосу і зчеплення ґрунтів для різних літофаціальних зон за період 1998 - 2001 р. спостережень зсувів.

Для кількісної оцінки кореляції проведена спроба випрямити графік з осями  $\beta$  і  $h$  шляхом побудови його на осях  $\beta$  і  $1/h$  (рис. 2.6). Розсіювання точок виявилось досить значним, що підтверджують незначні коефіцієнти кореляції між величинами  $\beta$  і  $1/h$  в межах від 0,03 до 0,15. Незважаючи на таку незначну залежність, були проведені середні лінії, які проходять через точку з координатами  $h=0$  і  $\beta=0^\circ$ , тому що найбільш імовірні значення  $\phi$ , що розраховані для кожної літофації близькі до нуля, тобто вони також мають



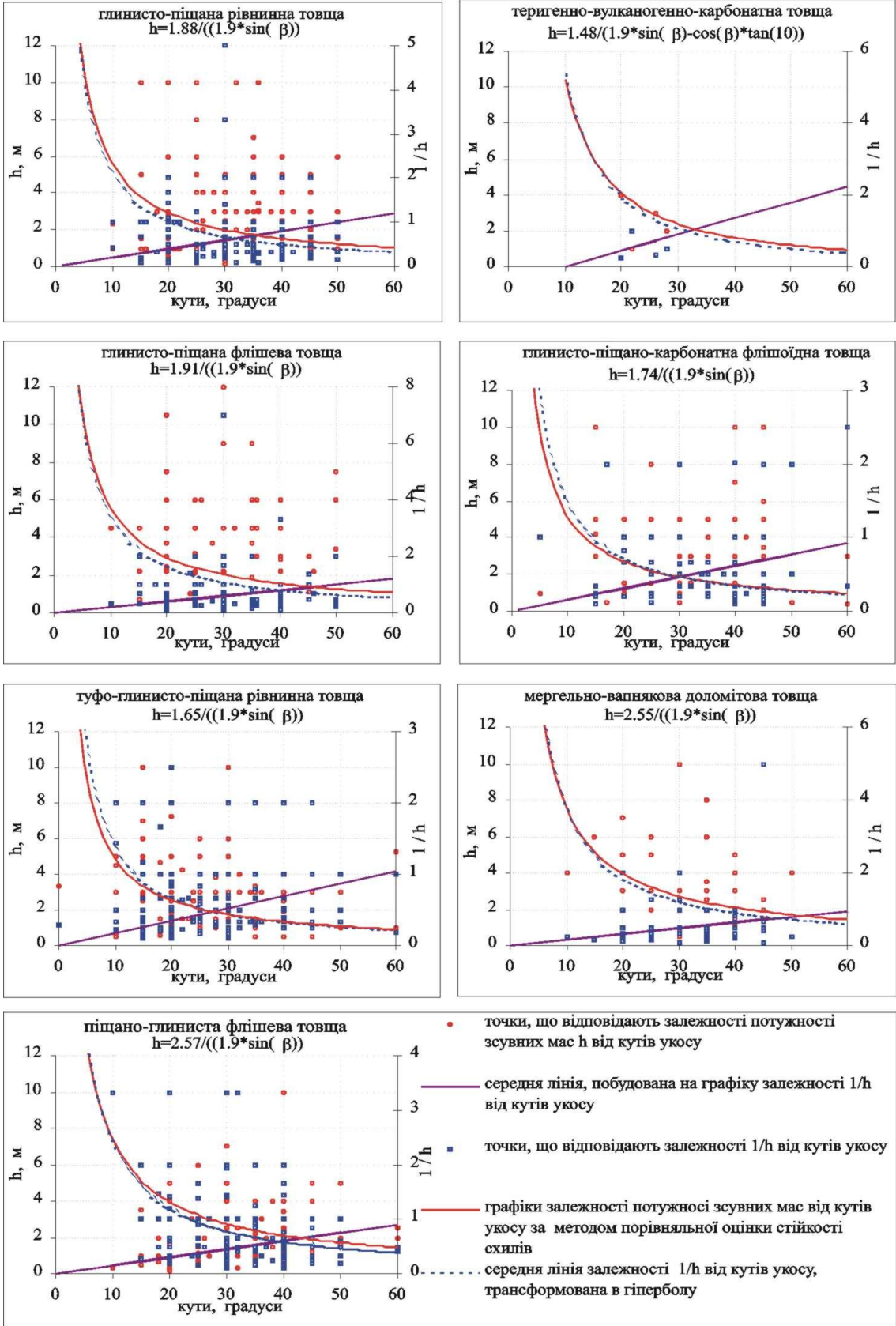


Рис. 2.6. Графіки залежності кутів укосу зсуву від потужності  $h$  і  $1/h$  зсувних мас, розраховані за допомогою порівняльного методу оцінки стійкості схилів.

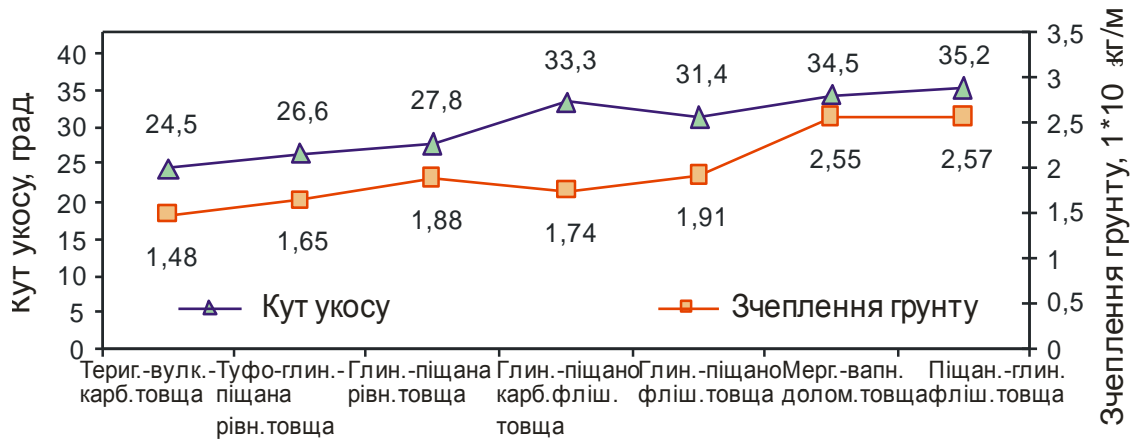


Рис. 2.7. Середні значення кутів уосу і зчеплення ґрунтів для різних фаціальних зон за період з 1998- 2001 рр. спостережень зсувів.

асимптоту вертикальну лінію  $\beta=0^\circ$  і тільки для теригенно-вулканогенно-карбонатної товщі кут внутрішнього тертя ґрунту дорівнює  $10^\circ$ , тож і на графіку залежності  $\beta$  від  $1/h$  середня лінія була проведена через точку з координатами  $h=0$  і  $\beta=10^\circ$ . Потім середні лінії були перенесені на рис. 2.6, де вони трансформувались в гіперболи.

Рівняння гіпербол для зсувів за літофаціальним складом порід мають вигляд середніх:

- теригенно-вулканогенно-карбонатна товща  $\frac{1}{h} = 0.045(\beta - 10^\circ)$ ;
- туфо-глинисто-підсана рівнинна товща  $\frac{1}{h} = 0.018(\beta - 0^\circ)$ ;
- глинисто-підсана рівнинна товща  $\frac{1}{h} = 0.02(\beta - 0^\circ)$ ;
- глинисто-підсано-карбонатна флішоїдна товща  $\frac{1}{h} = 0.016(\beta - 0^\circ)$ ;
- глинисто-підсана флішева товща  $\frac{1}{h} = 0.02(\beta - 0^\circ)$ ;
- підсано-глиниста флішева товща  $\frac{1}{h} = 0.02(\beta - 0^\circ)$ ;
- мергельно-вапняково-доломітова товща  $\frac{1}{h} = 0.018(\beta - 0^\circ)$ .

Гіперболи, що відповідають середнім лініям, майже повністю на графіках всіх фацій співпали з розрахованими раніше. Рівновага, а отже стійкість схилів, тим більша, чим точка, яка виражає схил, знаходиться нижче від середньої лінії.

Для визначення впливу обводненості зсувних схилів на граничну потужність покривних утворень бралися до уваги непрямі характеристики – відстані від водорозділу до центру зсувів і експозиції схилів. Як відомо, підземні води знаходяться на невеликій відстані від поверхні (0 – 20 м), а в долинах рік рівень підземних вод піднімається до 2-5 м і обумовлює підтоплення цих територій, особливо у весняно-осінній період. Так як живлення водоносних горизонтів відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, то чим більша відстань від зсуву до водорозділу, тобто чим більша площа живлення водоносного горизонту, тим більша повинна бути потужність зсувних мас. Нами виявлена статистична залежність між відстанню до водорозділу та відхиленням потужності покривних утворень від середньої лінії. Для туфо-глинисто-піщано рівнинної товщі спостерігається чітка закономірність: зі збільшенням відстані до водорозділу відхилення потужності покривних утворень зміщується у від'ємну сторону, тобто потужність зменшується, а відносно більші потужності покривних утворень зустрічаються для всіх товщ на відстанях від водорозділу 500 - 1000 м, крім глинисто-піщано рівнинної [9].

Оскільки, експозиція схилу впливає на швидкість висихання покривних утворень і відповідно на накопичення вологи за рахунок опадів, то цей чинник також брався до уваги. Більшість зсувів розташовано відносно водорозділу на південному, східному та південно-західному схилах (638 випадки із 1136 розглянутих). Відхилення потужності тут від середньої відмічається в додатню сторону, отже на цих схилах покривні утворення досягають більшої потужності, ніж на схилах, напрямлених на північ і на схід. Таким чином, експозиція схилів має деякий вплив на граничну потужність покривних утворень, тобто є зсувним чинником.

## 2.4. Статистичний аналіз окремих характеристик зсувів

Дослідженням впливу рельєфу, геологічних умов та зв'язком їх з геоморфологічними та геометричними параметрами зсувопроявів при геофізичних дослідженнях та розробці методів прогнозування та попередження зсувів в Карпатах займались автори робіт [6,7,9,16,21,23,65-67,75-77].

Завдяки значній кількості фактичного матеріалу, нами виконано узагальнення статистичних характеристик та деталізація деяких зв'язків.

Досліджувались наявні в кадастрі зсувів дані про основні характеристики зсувів: геометричні - висота стінки зриву зсувних мас, глибина захоплення порід (потужність) зсувних порід, ширина, довжина зсуву, площа зсувних порід, геоморфологічні – крутизна поздовжнього профілю, абсолютна відмітка зсуву (його геометричного центру).

Зважаючи на те, що Карпатський регіон відзначається густою мережею річок, припущення щодо впливу річкової ерозії на формування зсувів було реалізоване через розрахунок відстаней від зсувів до найближчої ріки ерозії (ГІС MapInfo).

З картографічних шарів рельєфу та розташування зсувів зняті абсолютні відмітки геометричних центрів зсувів, крутизна повздовжнього профілю для доповнення існуючої кадастрової бази даними. Визначалася експозиція схилу розташування зсувів.

Аналізуючи просторове розташування зсувів, виявлено, що вони зосереджені переважно на схилах східної, південної та західної експозицій (рис. 2.8).

Це логічно, адже зазначені сторони схилів мають оптимальні умови для зволоження - найкраще освітлюються, отримують найбільшу кількість тепла, що сприяє інтенсивному сніготаненню в осінньо-зимовий період, просочування води по тріщинах максимально зволожує поверхневі шари гірських порід, зменшуючи їх стійкість.

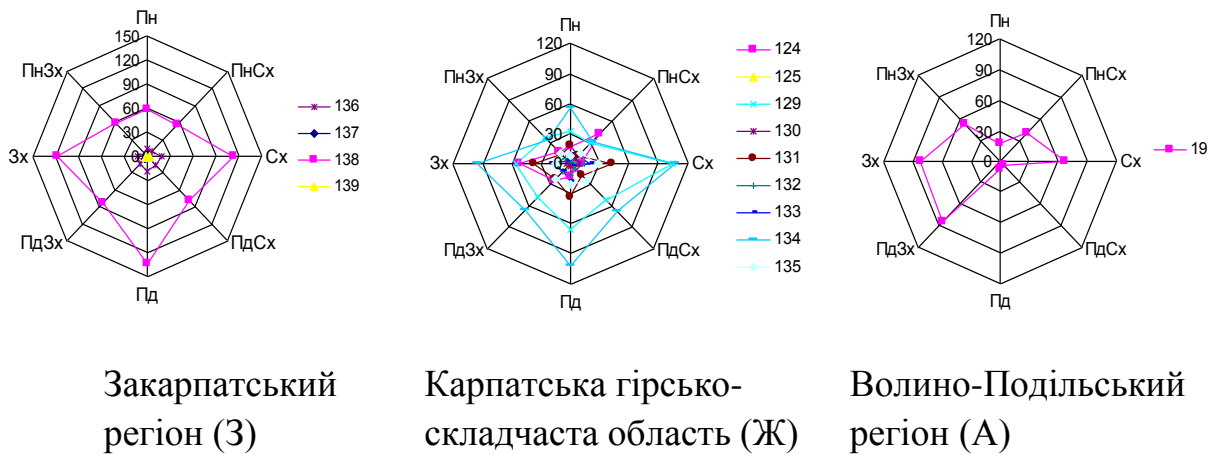


Рис. 2.8. Експозиції розташування зсувів на схилах з урахуванням інженерно-геологічного районування

Аналіз даних кадастру свідчить, що найбільша кількість зсувних форм розвивається на схилах - у нижній, середній, верхній частинах. Крім того, для гірських ландшафтів характерний розвиток зсувів у привододільній частині (рис. 2.9). Це, ймовірно, пояснюється тим, що зазначена територія відзначається значними висотами (145-1710 м) та крутизною схилів (10-70°) (табл. 2.5), наявністю на них потужної товщі вивітрілих порід, інтенсивним розчленуванням.

Згідно кадастру, найбільш поширені три види зсувних форм: циркоподібні 739 (Ж), 144 (З), 136 (А), фронтальні 601 (Ж), 207 (А), глетчероподібні 218 (Ж), 64 (З).

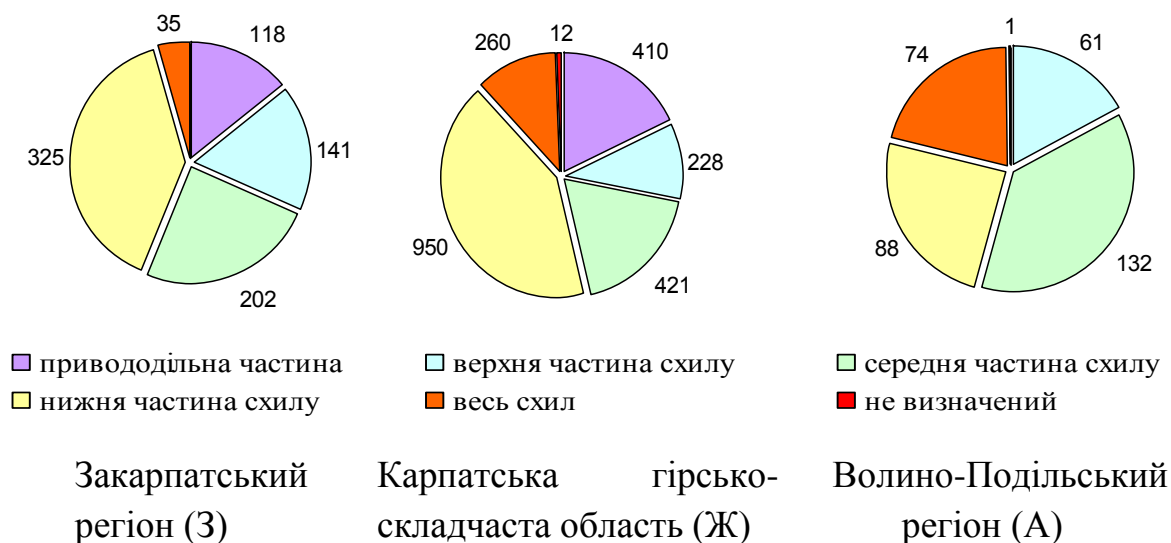


Рис. 2.9. Кількість зсувів згідно класифікації за місцезнаходженням зсуву на схилі

Статистичний аналіз виконувався для наявних геометричних параметрів зсувів – висота стінки зриву зсувних мас, глибина захоплення порід (потужність) зсувних порід, ширина, довжина зсуву, площа зсувних порід та геоморфологічних – крутизна повздовжнього профілю, абсолютна відмітка зсуву (його геометричного центру), відстань до базису ерозії.

При цьому визначався закон розподілу за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова, який застосовується, коли вибірка даних має значний обсяг. Теоретичний закон розподілу приймався, якщо розраховане значення D-статистики відповідно до обсягу вибірки було менше від критичного. Гістограми типових розподілів параметрів наведено на рис. 2.10 і у табл. 2.6.

Як видно з таблиці, більшість параметрів підпорядковуються логнормальному закону або його модифікації, що свідчить про ймовірну зміну умов формування зсувів під впливом комплексу зовнішніх чинників і дозволяє розглядати ці параметри як результат добутку діючих чинників.

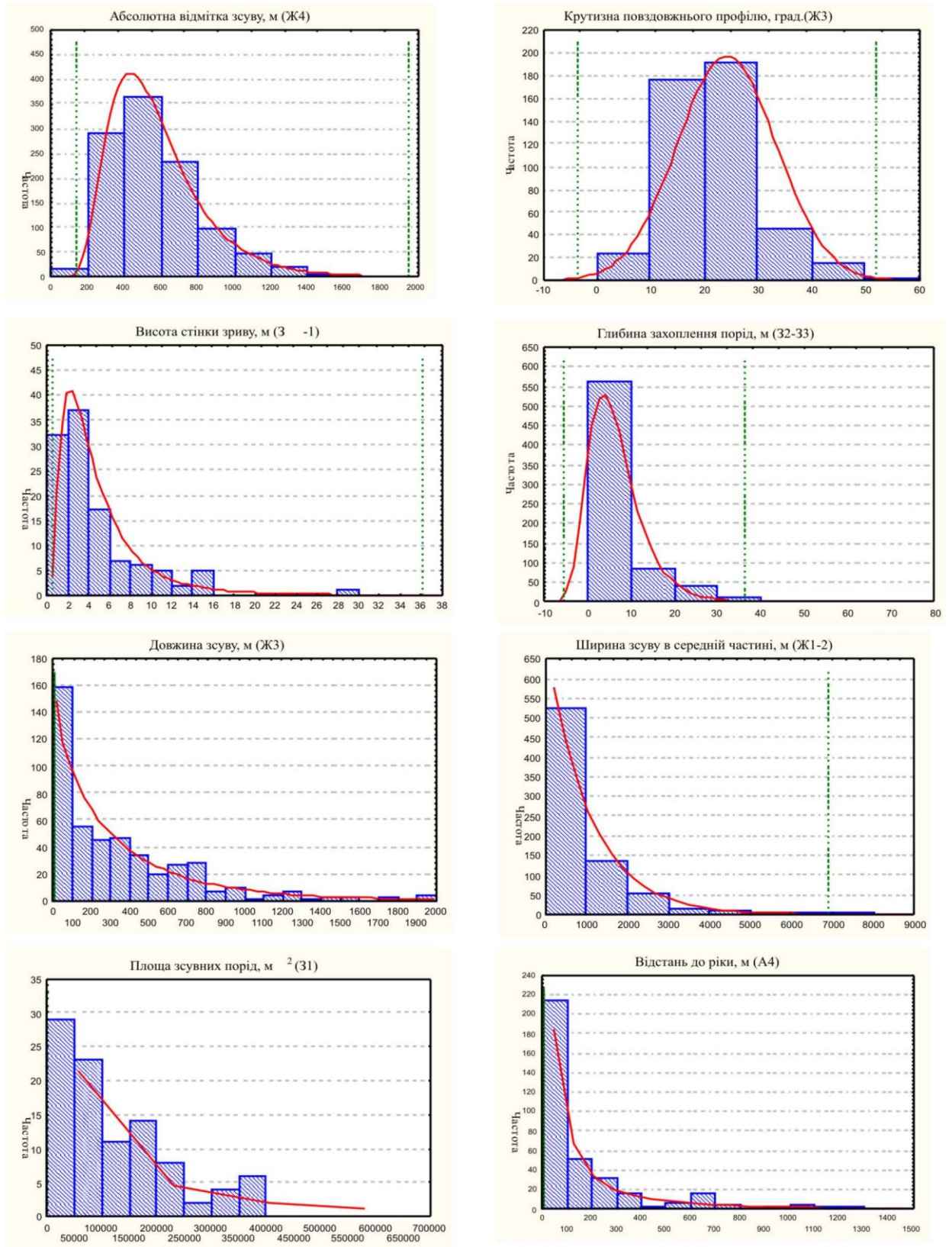
Як зазначається в роботі [5] – “не виключено, що якийсь з цих чинників або декілька чинників відіграли вирішальну роль у формуванні зсувів, адже при приблизно рівному впливі чинників ми мали б нормальний закон розподілу ймовірностей”.

Таблиця 2.6.

Закони розподілу параметрів відносно інженерно-геологічних областей при  
рівні достовірності  $\alpha=0.01$

Номер інж.—геолог. області	Об'єм вибірки	D-крит. Колмогорова-Смірнова	Абсолют. відмітка, м	Крутизна повздовжнього профілю	Висота стінки зриву, м	Глибина захоплення порід, м (потужність)	Довжина зсуву, м	Ширина зсуву, м	Площа зсуву, м <sup>2</sup>	Відстань до базису ерозії, м
З-1	112	0.102	Логнорм	Нормал.	Логнорм	Вейбула	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм
З-2, З-3	709	0.097	Екстрем	Нормал.	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм
Ж-1, Ж-2	749	0.076	Логнорм	Екстрем	Логнорм	Екстрем	Логнорм	Логнорм	Логнорм	Логнорм
Ж-3	456	0.056	Нормал.	Нормал.	Логнорм	Логнорм	Вейбула	Вейбула	Логнорм	Вейбула
Ж-4	1076	0.029	Логнорм	Логнорм	Екстрем	Екстрем	Вейбула	Вейбула	Логнорм	Логнорм
А-4	356	0.185	Екстрем	Екстрем	Логнорм	Екстрем	Логнорм	Експон	Логнорм	Екстрем





- - критичне значення непараметричного D-критерію дорівнює 0,029 при  $n=1076$  і  $\alpha=0.01$

Рис. 2.10. Типові гістограми та криві розподілу для досліджуваних параметрів

Далі проводився розрахунок зв'язків на рівні парної кореляції для виявлення взаємозв'язку геометричних параметрів зсувів та геоморфологічних чинників (табл. 2.7).

Розглянемо деякі зв'язки. Суттєву пряму залежність виявлено для взаємозалежних чинників – геометричних характеристик зсувів: висота стінки зриву, глибина захоплення порід, довжина зсуву, ширина зсуву, площа зсуву. Між висотою стінки зриву, глибиною захоплення порід (потужністю) та розмірами зсувів існує прямий зв'язок 0.09 для Подільської височини (А-4),  $0,5 \div 0,75$  для Карпатського регіону (Ж1-Ж-4),  $0,24 \div 0,62$  для Закарпатського регіону (З1-З-2).

Розміри зсувів залежать від крутизни схилу та потужності порід. При збільшенні крутизни повздожнього профілю зменшуються геометричні параметри зсувів (довжина та ширина, потужність, площа зсувів) у напрямку зі сходу на захід – від рівнин Подільської височини (А-4) до середньовисотних Полонинських та Вододільно-Верховинсько-Горганських хребтів (Ж-4, Ж-3). Так, зв'язок між зазначеними параметрами для зсувів А-4 (-0,08), а для Ж-4, Ж-3 зв'язок вагомий (-0,14  $\div$  0,28).

Вплив рельєфу на розвиток зсувів визначається зв'язком параметрів абсолютна відмітка, крутизна повздожнього профілю, відстань до ріки. Переважна кількість зсувів розвивається на схилах з крутизною  $15-30^\circ$  при висоті  $300 \div 700$  м. Між величинами абсолютна відмітка та крутизна повздожнього профілю обернена залежність (-0,13-0,51) переважно для рівнинних областей (Ж-1 (№123-124), Ж-2 (№125), Ж-3 (№130), Ж-4 (№135)) та пряма (0,08-0,13) для більшості гірських ландшафтів (Ж-4 (№131, 133) та З-1 (136-137), З-2 (138)), що логічно – із збільшенням абсолютних відміток ростуть кути нахилу схилів. Для низькогірного рельєфу ( $212 \div 627$  м) середньовисотних хребтів Складчастих Карпат та Подільської височини (Ж-1 (№124), Ж-3 (№129), Ж-4, (№133-134), А-4 (19)) характерно близьке розташування зсувів до річок.



Таблиця 2.7.

## Коефіцієнти парної кореляції між параметрами

Параметри	1	2	3	4	5	6	7	8									1	2	3	4	5	6	7	8
	3-1 (136, 137) N=112								3-2 (138) 3-3 (139) N=709															
Абсолют. відм. зсуву, м	1,0	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	1,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0							
Крутизна профілю,	0,1	1,0	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	1,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1							
Висота стінки зриву, м	-0,2	0,1	1,0	0,4	0,4	0,4	0,9	0,1	-0,1	-0,2	1,0	0,6	0,5	0,5	0,9	0,1								
Ширина зсуву, м (4)	-0,2	0,0	0,4	1,0	0,4	0,7	0,4	0,3	-0,1	-0,1	0,6	1,0	0,6	0,6	0,6	0,1								
Довжина зсуву, м (5)	-0,1	0,2	0,4	0,4	1,0	0,6	0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,5	0,6	1,0	0,6	0,6	0,1								
Площа зсувних мас, м <sup>2</sup>	-0,2	0,2	0,4	0,7	0,6	1,0	0,3	0,1	-0,1	-0,2	0,5	0,6	0,6	1,0	0,5	0,1								
Глибина захопл. порід,	-0,3	0,0	0,9	0,4	0,2	0,3	1,0	0,1	-0,2	-0,3	0,9	0,6	0,6	0,5	1,0	0,1								
Відстань до базису ерозії,	-0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	1,0	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1								
Ж-1 (№123) N=558									Ж-1 (№124) N=186															
Абсолют. відм. зсуву, м	1,0	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,4	0,2	1,0	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2								
Крутизна профілю,	-0,1	1,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	-0,1	1,0	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0									
Висота стінки зриву, м	-0,3	0,2	1,0	0,2	0,0	0,1	0,7	0,2	0,1	0,1	1,0	0,2	0,2	0,1	0,4									
Ширина зсуву, м (4)	-0,1	0,1	0,2	1,0	0,3	0,7	0,2	0,0	0,1	-0,1	0,2	1,0	0,2	0,4	0,1									
Довжина зсуву, м (5)	0,0	0,1	0,0	0,3	1,0	0,7	0,1	-0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	1,0	0,5	0,3									
Площа зсувних мас, м <sup>2</sup>	-0,1	0,1	0,1	0,7	0,7	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,5	1,0	0,2									
Глибина захопл. порід,	-0,4	0,1	0,7	0,2	0,1	0,1	1,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,3	0,2	1,0									
Відстань до базису ерозії,	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,1	1,0	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,1									
Ж-3 (№129) N=422									Ж-3 (№130) N=34															
Абсолют. відм. зсуву, м	1,0	-0,2	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	1,0	-0,5	0,2	-0,1	0,2	0,1	0,4									
Крутизна профілю,	-0,2	1,0	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	1,0	-0,1	-0,2	0,1	0,0	-0,2									
Висота стінки зриву, м	0,3	0,1	1,0	0,5	0,5	0,5	0,8	0,2	0,2	-0,1	1,0	0,6	0,6	0,1	0,7									
Ширина зсуву, м (4)	0,5	-0,1	0,5	1,0	0,7	0,8	0,7	0,3	-0,1	-0,2	0,6	1,0	0,5	0,3	0,5									
Довжина зсуву, м (5)	0,6	-0,2	0,5	0,7	1,0	0,8	0,7	0,4	0,2	0,1	0,6	0,5	1,0	0,5	0,7									
Площа зсувних мас, м <sup>2</sup>	0,5	-0,2	0,5	0,8	0,8	1,0	0,6	0,3	0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	1,0	0,3									
Глибина захопл. порід,	0,5	-0,1	0,8	0,7	0,7	0,6	1,0	0,3	0,4	-0,2	0,7	0,5	0,7	0,3	1,0									
Відстань до базису ерозії,	0,4	-0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	1,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,4	0,2	0,4									
Ж-4 (№131) N=194									Ж-4 (№132) N=75															
Абсолют. відм. зсуву, м	1,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,0	1,0	-0,3	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6									
Крутизна профілю,	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	1,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,3									
Висота стінки зриву, м	0,3	0,0	1,0	0,5	0,5	0,2	0,9	0,1	0,6	-0,2	1,0	0,6	0,4	0,3	0,9									
Ширина зсуву, м (4)	0,3	0,0	0,5	1,0	0,7	0,3	0,6	0,2	0,5	-0,2	0,6	1,0	0,7	0,4	0,8									
Довжина зсуву, м (5)	0,3	0,0	0,5	0,7	1,0	0,3	0,6	0,2	0,5	-0,2	0,4	0,7	1,0	0,5	0,7									
Площа зсувних мас, м <sup>2</sup>	0,2	0,0	0,2	0,3	0,3	1,0	0,2	0,2	0,4	-0,1	0,3	0,4	0,5	1,0	0,5									
Глибина захопл. порід,	0,3	-0,1	0,9	0,6	0,6	0,2	1,0	0,0	0,6	-0,3	0,9	0,8	0,7	0,5	1,0									
Відстань до базису ерозії,	0,0	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	1,0	0,1	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3									
Ж-4 (№133) N=98									Ж-4 (№134) N=558															
Абсолют. відм. зсуву, м	1,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	1,0	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2									
Крутизна профілю,	0,1	1,0	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,5	-0,1	-0,1	1,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3									
Висота стінки зриву, м	0,0	-0,4	1,0	0,5	0,1	0,1	0,9	0,1	0,2	-0,1	1,0	0,5	0,4	0,4	0,8									
Ширина зсуву, м (4)	0,2	-0,4	0,5	1,0	0,4	0,3	0,6	0,3	0,1	-0,2	0,5	1,0	0,6	0,6	0,5									
Довжина зсуву, м (5)	0,0	-0,3	0,1	0,4	1,0	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,3	0,4	0,6	1,0	0,6	0,5									
Площа зсувних мас, м <sup>2</sup>	0,1	-0,2	0,1	0,3	0,2	1,0	0,2	0,2	0,1	-0,2	0,4	0,6	0,6	1,0	0,4									
Глибина захопл. порід,	0,1	-0,5	0,9	0,6	0,2	0,2	1,0	0,2	0,2	-0,3	0,8	0,5	0,5	0,4	1,0									
Відстань до базису ерозії,	0,2	-0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	1,0	0,2	-0,1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3									
Ж-4 (№135) N=151									А-4 (№19) N=356															
Абсолют. відм. зсуву, м	1,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,4	-0,1	1,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0									
Крутизна профілю,	-0,1	1,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	-0,1	0,0	1,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0									
Висота стінки зриву, м	-0,2	0,2	1,0	0,7	0,4	0,5	0,9	0,0	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	0,1	0,3									
Ширина зсуву, м (4)	-0,3	0,1	0,7	1,0	0,6	0,7	0,7	0,1	0,0	-0,1	0,1	1,0	0,1	0,4	0,0									
Довжина зсуву, м (5)	-0,4	0,1	0,4	0,6	1,0	0,7	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,1	0,1	1,0	0,8	0,0									
Площа зсувних мас, м <sup>2</sup>	-0,2	0,1	0,5	0,7	0,7	1,0	0,5	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,4	0,8	1,0	0,1									
Глибина захопл. порід,	-0,4	0,2	0,9	0,7	0,5	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	1,0									
Відстань до базису ерозії,	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	1,0	0,3	0,2	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,1									

Повені в осінньо-зимовий та паводки у весняно-літній періоди руйнують русла річок, розвиваючи бічну ерозію, а отже, створюючи умови для сповзання ґрунту. Про це свідчить прямий зв'язок ( $0,16 \div 0,39$ ) між абсолютними відмітками та відстанями до базису ерозії. Отже, можна зробити висновок, що на формування зсувів впливає річкова ерозія.

Від'ємна кореляція ( $-0,16$ ) свідчить про те, що у районах З-1 (136-137), Ж-1 (№123) зсуви знаходяться далеко від річок. Крім цього для Закарпатського прогину та Карпатської гірськоскладчастої області (Ж) характерний обернений зв'язок ( $-0,09 \div -0,14$ ) між крутизною повздовжнього профілю та відстанню до базису ерозії, тобто чим крутіший схил, тим далі знаходиться ріка. Відсутність тісного зв'язку між досліджуваними незалежними параметрами, а також відмінність законів розподілу для їхніх значень зумовлена тим, що зсуви формуються не лише під впливом просторових умов – геологічної, тектонічної будови, літологічного складу, типу рельєфу, ступеня зруйнованості верхнього шару порід, але й значною мірою зумовлюються зовнішніми впливами – аномальними значеннями атмосферних опадів [25,29].

З метою виділення груп зсувів, які відрізняються за комплексом геоморфологічних та геометричних параметрів, застосовувався кластерний аналіз (рис. 2.11).

Як видно з рис. 2.11, табл. 2.8 виділено чотири групи (кластерів). Перший кластер показує вплив річкової ерозії (бічна ерозія схилу) на формування зсувів, вони розташовані на пологих схилах і мають невеликою потужність, для другого кластера характерні середньовисотні зсуви зі значною крутизною схилів і невеликими площами та глибинами захоплення порід. Третій кластер виділяє низькогірні зсуви, які знаходяться далеко від річкової мережі (базису ерозії). Четвертий кластер виділяє високогірні зсуви зі значними глибинами захоплення порід (потужностями). Отже, кластерний аналіз показав, що характеристики зсувів визначаються різними умовами формування зсувів [22].

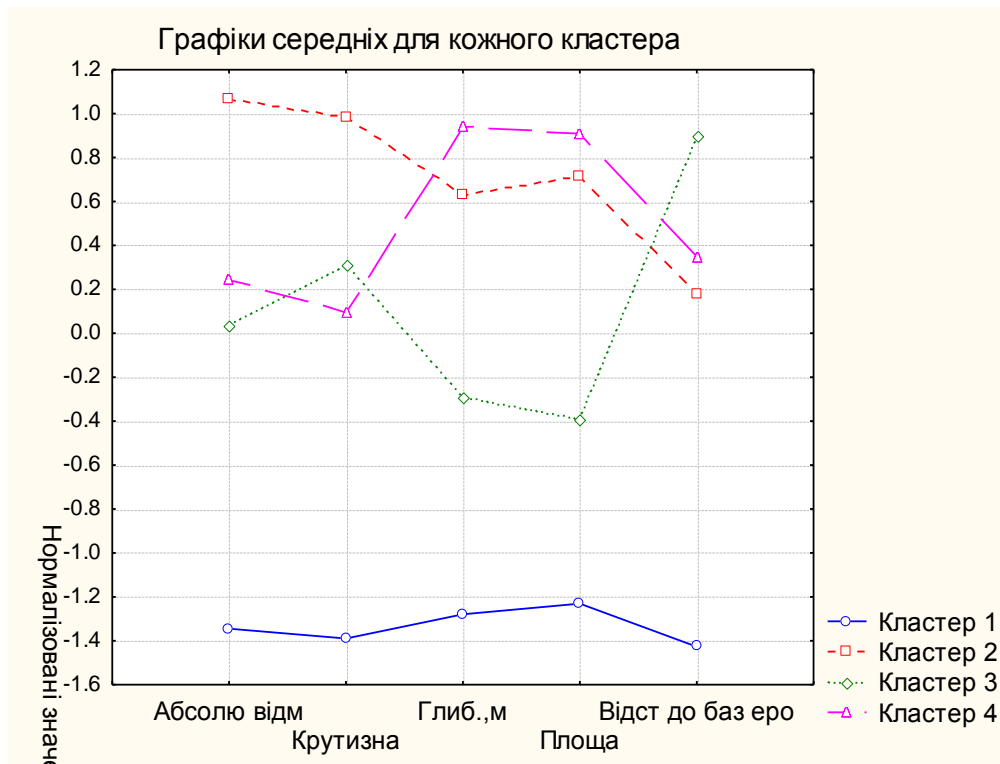


Рис. 2.11. Кластерний аналіз параметрів зсувів

Таблиця 2.8.

## Результати кластерного аналізу

Параметр	Об'єм вибірки	Абс. позн.	Крутизна	Глибина	Площа	Відстань до базису ерозії
Кластер 1	1520	352,5	16,9	5,9	150000	178,4
Кластер 2	765	472,5	30,0	4,0	36719	224,8
Кластер 3	511	397,5	20,5	7,0	162500	780,0
Кластер 4	585	802,5	25,8	24,5	281250	371,9

Кут нахилу денної поверхні схилу є одним з визначальних чинників утворення зсувів [66,67]. Крутизна поверхні контролює співвідношення між силами тертя потенційно зсувних мас із підстиленими породами, (геологічними утвореннями) і складову сили тяжіння, що спрямована уздовж схилу. Таким чином, крутизна схилу визначає ступінь рівноваги сил, які втримують зсувні маси від їхнього ковзання, тобто визначає напружений стан схилу.

У роботі [76] відзначено, що “зсуви найчастіше поширені в гірських

районах, на ділянках з різко пересіченим рельєфом, на високих і крутих схилах річкових долин, на берегових схилах водойм, на укосах виїмок і кар'єрів. Загалом, рельєф місцевості, орографічне положення району створюють запаси потенційної енергії, що спричиняє розвиток зсувних явищ". Природні схили завжди прагнуть до виположування, до крутизни, що відповідає куту природного укосу порід, що їх складають, тобто до такої найбільшої крутизни, при якій вони перебувають у стійкому стані: не сповзають, не осипаються і т.д. Таким чином, на крутих схилах зсуви утворитися не можуть – це схили обвалів й осипів.

Аналіз розподілу зсувів за величинами крутизни повздовжнього профілю (рис. 2.12) (за кадастровими даними) показує, що закон є двомодальним. З графіка видно, що найменше зсувів відбувається при кутах нахилу до  $8^\circ$  та більше  $40^\circ$ .

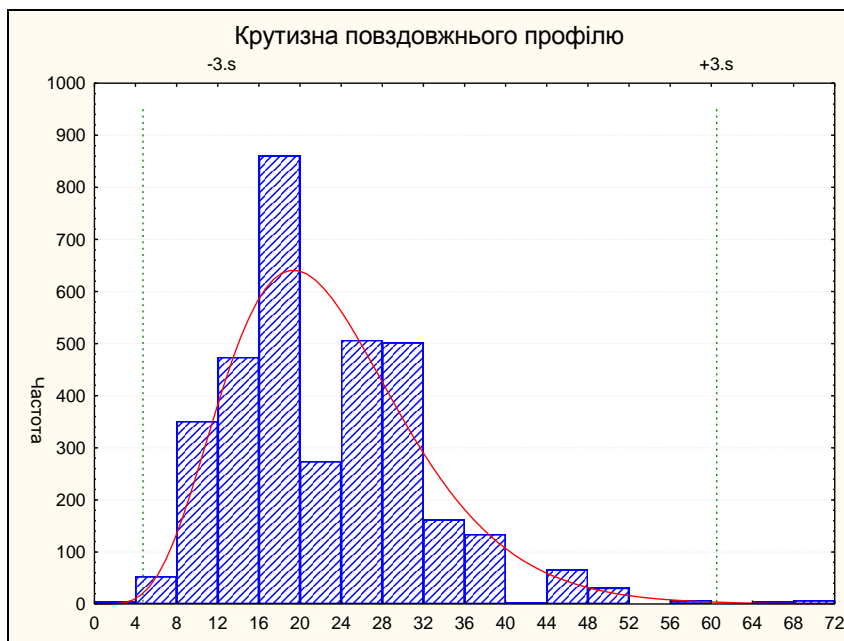


Рис. 2.12. Розподіл крутизни повздовжнього профілю (вся база даних)

Теоретична крива (рис. 2.13) виділяє інтервал, при яких можливе утворення зсувів-течії від  $8^\circ$  до  $24^\circ$  (математичне очікування кутів для I групи –  $16,9^\circ$ ), зсуви блокового ковзання, відповідають другому розрахованому теоретичному закону в діапазоні від  $24^\circ$  до  $40^\circ$  (математичне очікування  $30^\circ$ , підтверджено кластерним аналізом) при кутах  $44^\circ$  і більше

можливі зсуви-обвали (рис. 2.13). Вважаючи, що значення центрів двох найбільш репрезентативних груп є математичним очікуванням, було розраховано відповідні їм середньоквадратичні відхилення. Наближення до апіорного розподілу визначається з урахуванням вагових коефіцієнтів (відношення кількості зсувів в кожній групі до загальної кількості зсувів). Значний об'єм вибірки дозволяє зробити **висновок**, що двомодальна крива розподілу крутизни відповідає двом основним типам зсувів – течії та блокового ковзання.

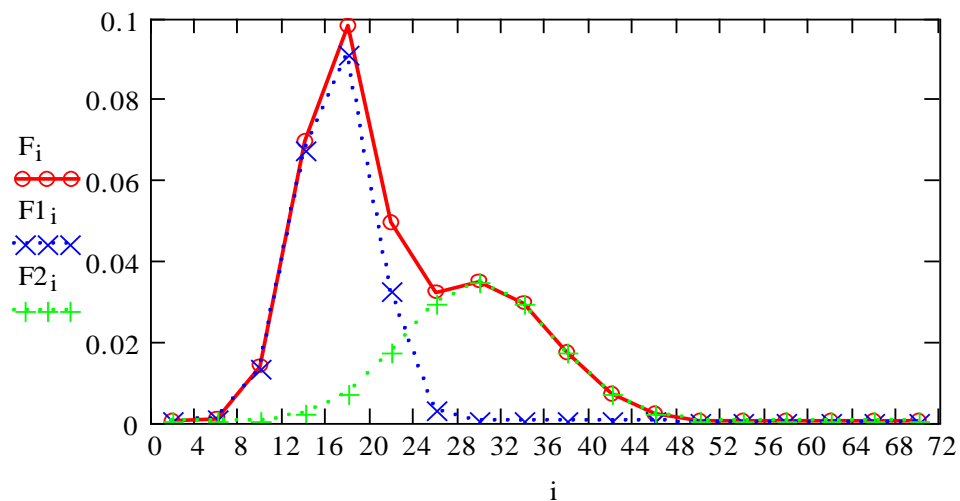
$$i := 2, 6.. 72 \quad 0.. 24 \quad \sigma_1 := 2.45 \quad xs_1 := 16.9$$

$$N := 3442 \quad 25.. 72 \quad \sigma_2 := 4.75 \quad xs_2 := 30$$

$$F1_i := \left[ \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_1}} \cdot e^{-\left(\frac{i-x_{s1}}{2 \cdot \sigma_1}\right)^2} \right] \cdot \frac{2017}{3442}$$

$$F2_i := \left[ \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_2}} \cdot e^{-\left(\frac{i-x_{s2}}{2 \cdot \sigma_2}\right)^2} \right] \cdot \frac{1423}{3442}$$

$$F_i := F1_i + F2_i$$



- Сума законів розподілу
- ⋯ Зсуви течії (17°)
- ⋯ Зсуви блокового ковзання (29.5°)

Рис. 2.13. Визначення густини ймовірності крутизни зсувів (за сумою двох нормальних законів, враховуючи вагові коефіцієнти).

## **Висновки.**

1. Аналіз ураженості зсувами з урахуванням інженерно-геологічних умов дає підставу відокремити різні типи зсувів відносно інженерно-геологічних одиниць. Найбільше уражений зсувами регіон Передкарпатського прогину (7,75% площі регіону). Зсуви розвиваються у четвертинних алювіальних, алювіально-делювіальних відкладах, які нагромаджуються у річкових долинах, відзначаються незначними висотами 212-329 м, з крутизною схилів 16,4 – 17,9°, потужністю зсувних мас 4,2 – 5,6 м, переважають зсуви течії. В регіоні Складчастих Карпат ураженість зсувами становить 2,97% площі регіону, зсуви розвиваються у флішових породах, на межі стику структурно-тектонічних зон, за типом зміщення переважають зсуви течії з потужністю до 6 м, на абсолютних відмітках 200-500 м, з крутизною схилів 15-25°, а також зсуви видавлювання та блокового ковзання потужністю 10 – 17 м, на абсолютних відмітках 580-990 м, з крутизною схилів 25 - 30°. Для Закарпатського внутрішнього прогину (3) ураженість зсувами становить 1,34%, розвиток зсувів відбувається в обводнених та роздроблених глинистих породах елювіально-делювіальних відкладів та у корі вивітрювання вулканічних порід, переважають зсуви течії та видавлювання. Абсолютні відмітки зсувів 379,3 – 472,0 м, потужність зсувних мас 10,6 м, крутизна схилів 20,8°.

2. Динаміка активізації зсувів відносно тектонічного районування свідчить, що найбільший розвиток зсувів характерний для покривно-лускового стилю тектоніки, коли породи зім'яті у складки, розділені крутими насувами, ускладнені повздовжніми розривами, розломами – Кросненська зона, Поркулецький, Дуклянський, Рахівський покриви Складчастих Карпат, Станіславська підзона Передкарпатського прогину, Центральна зона Закарпатського внутрішнього прогину.

3. За результатами статистичного аналізу характеристик зсувів відносно літологофаціальних комплексів підстелених порід встановлено, що більшість

зсувів (63% від загальної кількості) поверхневого покриву розвиваються в породах туфо-глинисто-піщаної, глинисто-піщано рівнинної, глинисто-піщано-карбонатно флішоїдної товщі і мають глетчероподібну форму; зсуви на території глинисто-піщано-флішової фації, в основному, циркоподібні; для теригенно-вулканогенно карбонатного покриву і піщано-мергельно-вапняково-доломітової товщі характерні зсуви фронтального типу.

4. Встановлено ступінь зв'язку характеристик зсувів з морфологією рельєфу. Виявлено суттєві зв'язки між незалежними параметрами: абсолютна відмітка, відстань до базису ерозії, крутизна повздовжнього профілю та геометричними характеристиками зсувів. Переважна більшість зсувів розвивається на схилах з крутизною 15-30° на висоті 300÷700 м. Прямий зв'язок (0,16÷0,39) між абсолютними відмітками та відстанями до базису ерозії свідчить про вплив річкової ерозії на розвиток зсувів. Найбільш ураженими є схили східної, південної та західної експозицій. Аналіз теоретичного закону розподілу крутизни поздовжнього профілю показав двомодальний нормальний закон розподілу, який дозволяє класифікувати різні типи зсувів за механізмом зміщення – зсуви течії та зсуви блокового ковзання.

Отже, геолого-тектонічна будова визначає особливості розвитку зсувів, тому часові моделі слід створювати для кожного окремого інженерно-геологічного регіону, а числові характеристики зсувів є важливими для територіального районування за геоморфологічними та геолого-тектонічними параметрами.

### РОЗДІЛ 3. ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ НА ЛОКАЛЬНОМУ ТА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНЯХ

#### 3.1. Застосуванням геофізичних методів для вивчення зсувів на локальному рівні

Аномальні метеорологічні умови (опади, повені) суттєво вплинули на верхню частину геологічного середовища під час активізації зсувів у 1998-1999рр. та 2001р. Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція (ЗУГРЕ) виконувала польові дослідження геофізичними методами, а ІФНТУНГ – комплексну інтерпретацію [67].

Геофізичні дослідження зсувів на локальному рівні проводяться з метою виявлення напружених зон, пов'язаних з руйнуванням верхнього шару геологічного середовища, що є потенційним середовищем розвитку зсувів.

Розглянемо, до прикладу, одну з зсувонебезпечних ділянок Закарпаття «Колочава», яка розташована в Міжгірському районі, що відноситься до регіону Складчастих Карпат.

Виконувався комплекс електричних методів для вивчення геометричних параметрів зсувонебезпечних зон: вертикальне електричне зондування (ВЕЗ), природне імпульсне електромагнітне поле Землі (ПЕМПЗ).

Згідно класифікації зсувів, наведеної у Рудька Г.І. [75-78] на території Складчастих Карпат розвиваються структурно-пластичні зсуви (зсуви ковзання) та пластичні зсуви (зсуви течії). Зсуви, на яких виконано геофізичні дослідження, на наш погляд, тяжіють до зсувів течії або займають проміжне положення між зсувами ковзання та зсувами течії. В [78] зазначається, що “зсуви течії розвинуті в делювіальному чохлаї та породах глинистого флішу”.



Враховуючи механізмом утворення зсувів, варто очікувати диференціацію порід по розрізу за питомим електричним опором, швидкістю пружних хвиль. Це створює передумови для застосування геофізичних методів: вертикального електричного зондування, сейсмометрії. Останній метод недоцільний для виробництва через значні кошти. Для електричного зондування варто очікувати пониження електричного опору для елювіальних (порівняно з корінними) і тим більше для делювіальних порід за умови їх зволоженості.

Напружений стан гірських порід у підготовчий період до активізації зсувів є фізичною передумовою для електромагнітного випромінювання гірських порід, пов'язаного з порушенням їх мікроструктури. Зазначене порушення відбувається в межах розвитку зсувних порід вище поверхні дзеркала зсуву, тобто на глибинах 3-6 м для покрівних зсувів, що проявляється в максимумах аномалій ПЕМПЗ.

Таким чином, кожний із зазначених методів базується на своїх, відмінних від інших методів, фізичних передумовах.

Розглянемо детально ефективні параметри прийняті для комплексної інтегрованої інтерпретації (рис.3.1).

Для оцінки зсувонебезпеки за кутами нахилу денної поверхні використовувався параметр  $f(\alpha)$  – функція густини ймовірності зсувів. Ця функція розрахована для кривої закону розподілу кількості зсувів за кутами нахилу денної поверхні, що визначений на основі аналізу гістограм такого розподілу для всіх описаних закарпатських зсувів, які були активізовані в період 1998 – 2001 рр. (дані Закарпатської ГРЕ) і об'єктивно відображає зсувонебезпеку, чим більша  $f(\alpha)$ , тим більша ймовірність зсуву – така закономірність встановлена нами для Закарпатського регіону при кутах  $\alpha = 15-40^\circ$  [83].

За даними ВЕЗ оцінюємо потужність –  $h$  зсувних (або потенційно зсувних) порід, що визначає поряд з питомою вагою загальну вагу зсувних порід. чим більша  $h$ , тим більша зсувонебезпека (при рівності всіх інших

параметрів). Цей параметр визначається як сума потужностей геоелектричних горизонтів  $h_i$ , що їх складають. При цьому обов'язково враховувались дані буріння свердловин.

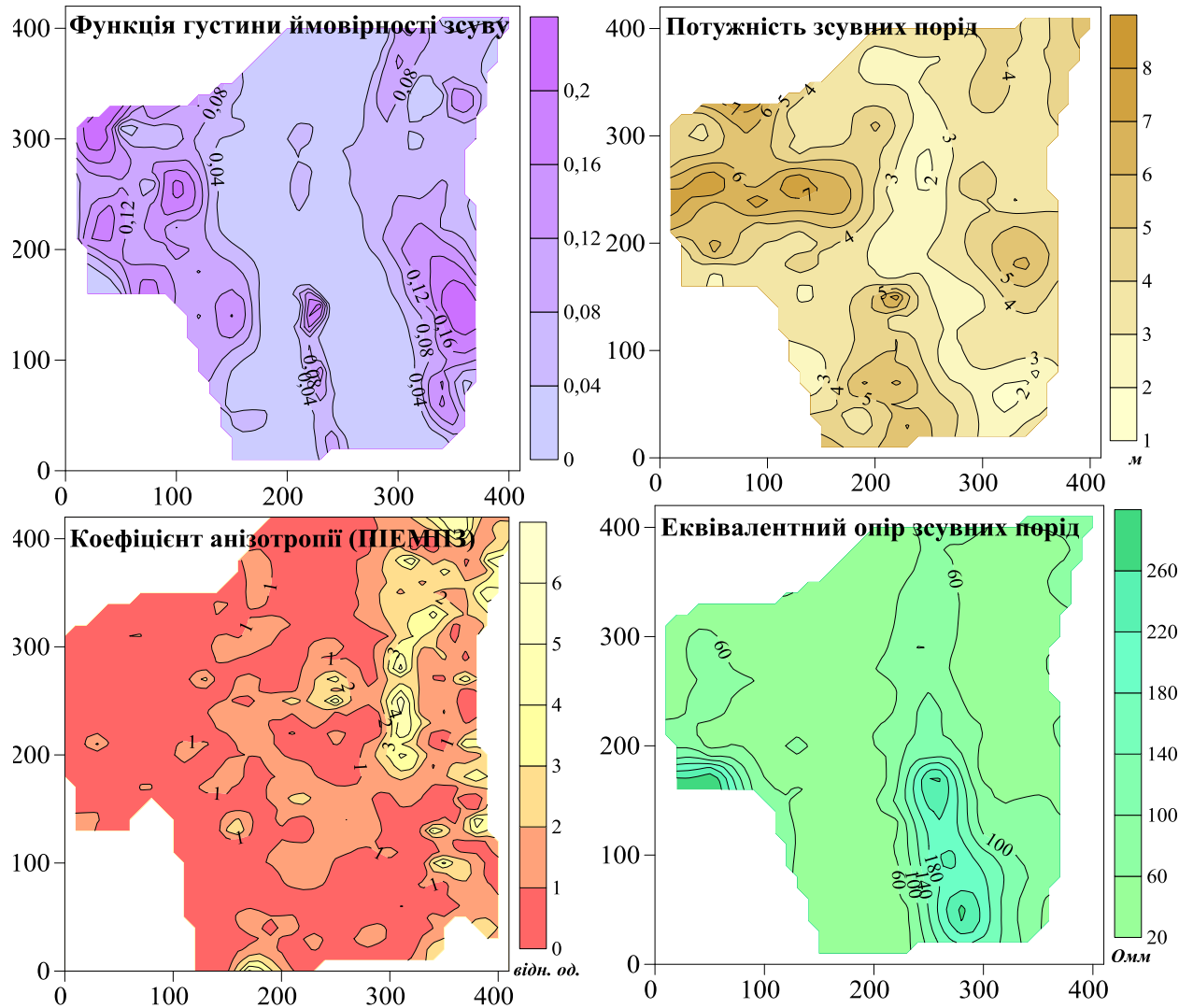


Рис. 3.1 Схематичні карти ефективних параметрів ділянки “Колочава”

За даними кількісної інтерпретації ВЕЗ визначаються такі параметри як  $h_i$  і  $\rho_i$ . Вони є основою для розрахунку комплексного параметра еквівалентного електричного опору -  $\rho_{екв}$  зсувних товщ. Цей параметр визначається за формулою:

$$\rho_{екв} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{h_i}{\rho_i}}, \quad (3.1)$$

де  $i$  – порядковий номер потужностей зсувної товщі  $i$  відповідного еквівалентного опору.

В основі метода ПЕМПЗ лежить ефект генерації електромагнітних імпульсів гірськими породами при дії на них механічних напружень [62]. Величина механічних напружень визначає швидкість випромінювання електромагнітного поля, тобто кількість імпульсів за одиницю часу, але поряд з корисним сигналом реєструється і сигнал-завада, що пов'язаний з техногенною діяльністю людини (в основному це промислові струми), а також з електромагнітними полями іншого походження (атмосферики, магнітотелуричне поле). Існує два послідовних кроки на шляху зменшення цих завад. Перший крок – використання при вимірюваннях поряд з польовим приладом приладу на контрольній точці, який реєструє варіації. Алгоритм обробки даних при такій методиці робіт докладно викладений в роботі [61]. Другий крок – використання в якості корисного сигналу коефіцієнта анізотропії  $\chi$ , який розраховувався за формулою:  $\chi = Im/Il$ , де  $Im$  – напруженість природного імпульсного електромагнітного поля Землі, виміряна при орієнтації антени впоперек схилу,  $Il$  - напруженість природного імпульсного електромагнітного поля Землі, виміряна при орієнтації антени по падінню схилу. Доцільність застосування такого коефіцієнта доведена в роботі [61]. Вона обгрунтована, на наш погляд, по-перше, зменшенням синхронних в часі сигналів завад завдяки ділення  $Im$  на  $Il$  при визначенні  $\chi$ , по-друге, збільшенням корисного сигналу, по-третє, виконанням вимоги представництва одного метода при комплексній інтерпретації одним параметром. Адже при зародженні зсувів, які візуально ще не спостерігаються, основним напрямком розвитку деформацій є напрямок по схилу. Таким чином, із ростом небезпеки зсувів повинен значно зростати

параметр  $Im$  і в меншій мірі зростати або лишатись незмінним параметр  $Il$  – відповідно повинен зменшуватись коефіцієнт анізотропії  $\chi$ , який ми вважаємо ефективним параметром, що узгоджується з зсувонебезпечністю. Кореляція між параметрами  $\chi$  і  $f(\alpha)$ ,  $h$  від’ємна.

При комплексній інтерпретації використовується інтегральний метод розрахунку функції комплексного показника ФКП з подальшою трансформацією в критерій імовірності зсувів (рис. 3.2). Алгоритм розрахунку цього параметра запропонований Кузьменком Е.Д. і наводиться в публікації [88].

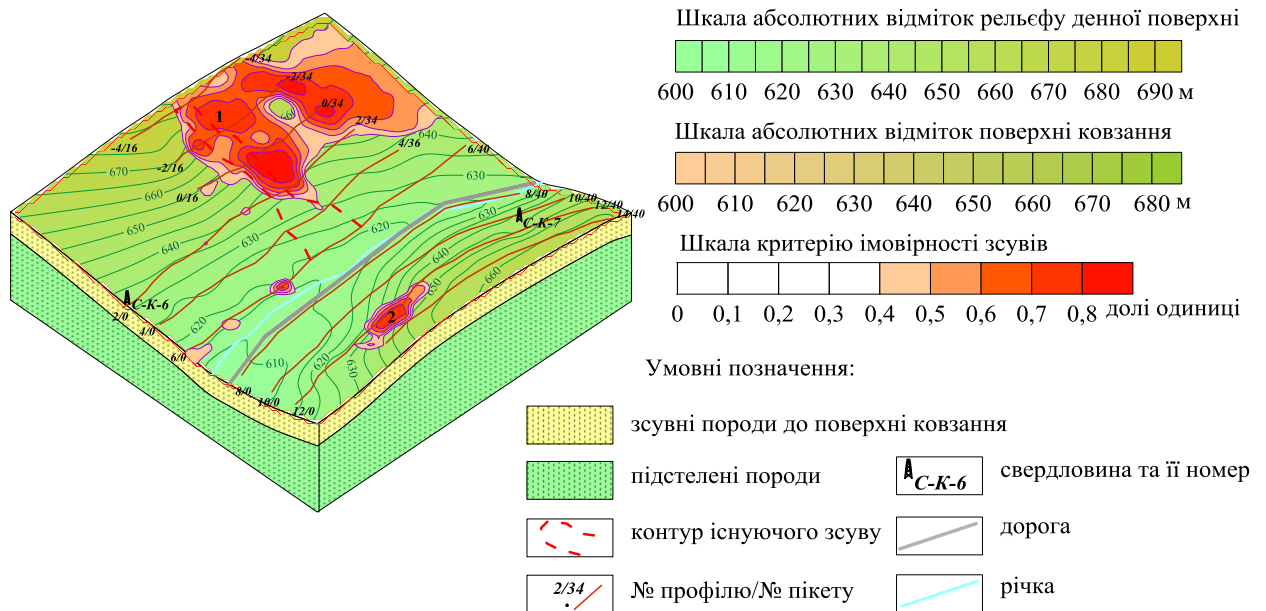


Рис. 3.2 Карта критерію імовірності зсувів ділянки “Колочава”, М 1:5000

В результаті комплексної інтерпретації на території ділянки виділено дві аномалії: 1) аномалія №1 охоплює верхню частину відомого зсуву та його ліву прибортову частину, отже зсув на даний момент не є стабільним. Центр аномалії має координати (100,250). Рівень  $P > 0.8$ , потужність зсувних порід в середньому 6-7 м, площа більше 9600 м<sup>2</sup>, об’єм зсувних мас становить приблизно 62000 м<sup>3</sup>. Відстань до дороги приблизно 100 м, тому небезпеки для неї не становить. Аномалія узгоджується з усіма ефективними параметрами. 2) аномалія №2 з координатами в центрі (350,150) знаходиться між 12 – 16 пікетами профілів № 12, 14. Значення  $P > 0.7$ , потужність зсувних

порід в середньому 4-5 м, площа біля 2100 м<sup>2</sup>, об'єм зсувних мас становить приблизно 9500 м<sup>3</sup>. Віддаль до дороги 70 м. Аномалія підтверджена всіма ефективними параметрами.

Таким чином, при комплексній інтегрованій інтерпретації геофізичних параметрів варто використовувати алгоритмом розрахунку функції комплексного показника ефективних параметрів з подальшою кількісною оцінкою просторового прогнозу на основі використання критерію ймовірності зсувів.

### **3.2. Відображення розвитку зсувних процесів у гравітаційному та магнітному полях**

На даний час ефективність застосування геофізичних методів при вивченні зсувів вважається доведеною. На наш погляд, у першу чергу, слід зазначити фундаментальні дослідження співробітників ВСЕГІНГЕО (Всесоюзний науково-дослідний інститут гідрогеології та інженерної геології), які відображені у низці звітів та опублікованих працях, зокрема, в «класичній» монографії [54]. В Україні геофізичні дослідження зсувів у значних об'ємах виконувались у Карпатському регіоні, в Криму, на Дніпровських схилах; вони пов'язані з іменами таких учених як Г.І. Рудько, А.Ф. Безсмертний, О.М. Іванік, Е.Д. Кузьменко, В.Д. Чебан, Д.Н. Лящук, М.І. Майко, О.К. Тяпкін, М.Г. Демчишин [4, 10, 13,61, 63-67,73].

Застосування геофізичних методів для вивчення зсувних процесів має такі переваги: 1) визначення повної картини будови зсувної ділянки в просторі за рахунок виявлення особливостей геофізичних полів, що несуть інформацію про всю її структуру; 2) отримання інформації без порушення цілісності геологічного середовища; 3) можливість здійснювати у відносно короткі терміни поверхневі геофізичні дослідження з досить густою мережею спостережень; 4) виявлення аномальних змін геофізичних полів у часі за умов забезпечення стислих термінів спостережень кожним із застосованих методів; 5) забезпечення високої точності та достовірної інтерпретації

геофізичних аномалій; 6) незначними порівняно з іншими методами, затратами при вирішенні однакових задач.

При дослідженні зсувів на різних ділянках випробувались різноманітні геофізичні методи: сейсмічний метод заломлених хвиль, метод вертикальних електричних зондувань, георадарне зондування, метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі, метод природного електричного поля, гравіметрія, магнітометрія, еманацийний метод. Спільною для всіх зазначених методів була та обставина, що вони застосовувались на окремих зсувних ділянках. На регіональному рівні при дослідженні численної кількості зсувів в літературі не відмічались спроби пов'язати особливості геофізичних полів з ураженістю територій зсувними процесами. У даній публікації така спроба здійснюється вперше для гравітаційного і магнітного полів.

Аналіз відображення ураженості зсувними процесами залежно від тектонічного районування в локальних аномаліях магнітного та гравітаційного полів виконано на прикладі Закарпатської області, яка в структурно-тектонічному відношенні поділяється на Закарпатський внутрішній прогин та Складчасті Карпати.

Для аналізу взаємозв'язків між поширенням зсувних процесів і тектонічними порушеннями, що відображаються в гравімагнітних полях [116-117] використані локальні аномалії поля сили тяжіння та магнітного поля Українських Карпат та прилеглих прогинів, які розраховані С.Г. Анікеєвим [118,121], а також Державна геологічна карта України, м-б 1:200000. Карпатська серія. Ужгородська група аркушів М-34-XXXV(Ужгород); L-34-V(Сату-Маре) [122].

Розвиток зсувів у межах кожної структурно-тектонічної зони має зв'язок із її тектонічною будовою, де зсувопрояви мають різну інтенсивність, динаміку, тенденцію до подальшого розвитку і площу поширення (рис. 2.4). За допомогою засобів ГІС MapInfo в межах тектонічних зон розраховано: площі локальних гравітаційних та магнітних аномалій; сумарну довжину

тектонічних порушень; відстань від зсувів до найближчого тектонічного розлому; відстань від зсувів до найближчої ріки. Крім того, як незалежні чинники розглядались геоморфологічні характеристики – абсолютні відмітки, кут нахилу денної поверхні «голови» зсуву. Усі ці параметри дозволяють всебічно проаналізувати закономірності просторового розподілу поширення зсувів.

З фізичної точки зору, зв'язок ураженості територій зсувними процесами з особливостями морфології та інтенсивності локальних аномалій потенціальних геофізичних полів пояснюється, в основному, відображенням в геофізичних полях літологічних та тектонічних чинників.

Літофаціальний тип підстелених гірських порід варто вважати одним з найбільш суттєвих природних чинників розвитку зсувних процесів. Рухливі маси, що утворюються на поверхні підстилаючих порід, генетично пов'язані з ними. Окремі мінеральні, фізичні та літологічні характеристики поверхневих відкладів, що безпосередньо формують здатність до утворення зсувів, визначаються геологічними і фаціальними особливостями корінних порід.

З теоретичної точки зору цей чинник пояснюється диференціацією характеристик міцності, що визначають стійкість схилу, для різних типів гірських порід. Загальний вигляд коефіцієнта стійкості схилу визначається за формулою [170]

$$\eta = \frac{N \cdot \operatorname{tg} \varphi + C \cdot L}{T} \quad (3.1)$$

де:  $\eta$  – коефіцієнт стійкості зсуву,  $N$  – складова сили тяжіння, що утримує зсув в рівновазі,  $N = P \cdot \cos \alpha$ ;  $\operatorname{tg} \varphi = f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя порід, що утворюють поверхню ковзання або зону послаблення (основний деформує горизонт);  $C$  – зчеплення порід, що утворює поверхню ковзання або прилеглих до неї поверхонь;  $L$  – довжина поверхні ковзання;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні ковзання;  $T$  – складова сили тяжіння (загальної ваги порід  $P$ , що утворюють зсув). З літофаціями тут пов'язані параметри  $\operatorname{tg} \varphi$  і  $C$ .

Диференціація параметрів встановлюється експериментально. В таблиці 3.1 наведені зазначені параметри, які які характерні для основних типів деяких порід.

Аналіз таблиці свідчить, що найменші значення  $C$  і  $tg\varphi$  мають породи, які містять глинисті фракції. Цей факт підтверджується і іншими дослідниками, частина з яких більш категорична у висновках, і вважає, що зсуви притаманні лише для глинистих порід [8,53]. У публікації [122] здатними до утворення зсувів називаються глини, аргіліти, сланці та мергелі.

Таблиця 3.1

## Характеристики міцності основних типів гірських порід [115]

Порода	Межа міцності, бар	$C$ , бар	$tg\varphi$
Філіт	55	20	1,1
Пісковик	480	120	1,1
Сланець глинистий	30	80	2,1
Сланець глинистий кремнієвий	700	240	1,0
Алевроліт	115	28	1,3
Туф	15	5	0,9
Аргіліт	18	3,5	0,9
Конгломерат	210	180	1,4
Гранодіорит	1200	170	1,5
Базальт	680	320	1,2
Гнейс	630	110	1,3
Граніт	500	135	1,6
Вапняк	810	200	1,3

Гравітаційне поле відображає глибинні структури розділяючи їх за щільністю. Середовищем розвитку зсувних процесів на території досліджень є осадові породи, в яких глинисті та піщано-глинисті фракції посідають вагоме місце. Оскільки щільність зазначених порід в літологічному ряду є мінімальною, то за рахунок цього чинника слід очікувати понижених значень поля сили тяжіння.

Разом з тим слід прийняти до уваги різну глибинність зсувних процесів (відповідно пов'язаних з ними літологічних різновидів) та порід, яким



відповідають аномалії поля сили тяжіння. Тобто, слід очікувати слабкої оберненої кореляції.

Щодо магнітного поля Землі, то його додатні локальні аномалії мають корелювати із зсувною активністю. Додатні аномалії магнітного поля, як правило, зумовлені впливом припіднятих блоків фундаменту, які облямовані товщами осадових порід, тобто сформованих таким чином структур. Геометрія схилу цих структур сприяє утворенню небезпечних зон щодо зсувних процесів.

Трансформації геофізичних полів дозволяють виокремити локальні аномалії, зумовлені різними глибинними структурами. Методика аналізу локальних аномалій передбачає зіставлення особливостей їхнього розподілу з даними буріння та структурно-тектонічними картами. Локальні аномалії розраховуються як різниця між спостереженим та осередненим полем і відображаються у вигляді ізометричних або видовжених аномалій певного напрямку. При цьому глибинність ( $h$ ) джерел аномалій однакової форми та розмірів у гравітаційних і магнітних полях відрізняється. Щодо гравітаційних аномалій глибина досліджень приблизно рівна радіусу ( $R$ ) осереднення поля сили тяжіння. Глибина джерел магнітних аномалій становить приблизно  $1,2 \div 1,4$  глибинності залягання джерел гравітаційних аномалій [118].

Якісна інтерпретація гравітаційного та магнітного полів на картах у рельєфно-тіньовому зображенні полягає у виявленні відображення геологічних структур та розломів у вигляді аномальних зон різної форми, інтенсивності та знаку. У публікації [119] сформовано перелік ознак геолого-тектонічних структур: 1) осі склепінь складок антиклінальних (синклінальних) структур проявляються вузькими смугами додатних (від'ємних) аномалій (структур) з чіткими границями ділянок; 2) групи складок покриву, які виходять на поверхню, проявляються в аномальному полі у вигляді складного сполучення градієнтних зон і осьових ліній; 3) скидо-насуви в осадовому комплексі відображаються складними формами розгалужень смужок (зон розмежування аномалій одного знаку);

4) припідняті (опущені) блоки фундаменту, групи складок (або їхні крила) зі спокійним субгоризонтальним заляганням товщ гірських порід відрізняються світлими (темними) ізометричними або неправильної форми ділянками відносно спокійного поля; 5) глибинні розломи зі значною субвертикальною амплітудою відображаються як протяжні затемнені смуги (градієнтні зони), ланцюгом темних (світлих) видовжених ділянок-смуг, а смуги поперечного спрямування відображають поперечні розломи будь-якої природи.

Розглянемо характерні ознаки відображення тектонічних порушень, зон тріщинуватості, літологічного складу порід у гравітаційному (рис. 3.3) та магнітному (рис. 3.4) полях території досліджень.

Карпати – це складна гірська система, в будові якої переважають флішові відклади, їх прийнято розділяти на Внутрішні, які сформувалися у допізньокрейдовий час і Зовнішні (флішові), які є продуктом заключного крейдо-палеогенового етапу розвитку Карпатської геосинклінали.

У Зовнішніх Карпатах на поверхню виходять виключно крейдово-нижньоміоценові відклади флішової формації загальною потужністю до 10 км, вони розбиті на окремі блоки (луски) тектонічними порушеннями, що відіграло основну роль в формуванні сучасного рельєфу, орієнтації схилів, визначенні напряму гідрографічної мережі, геоморфології долин.

Тонкоритмічна крейдово-теригенна флішова товща зі складчасто-лусковою будовою та підвищеною тріщинуватістю сприяли інтенсивному розвитку процесів вивітрювання та утворення потужних товщ елювіально-делювіальних відкладів, які є середовищем розвитку екзогенних геологічних процесів, зокрема зсувів [75-76].

У межах Закарпатської області Зовнішні Карпати згідно тектонічного районування поділяються на такі тектонічні одиниці: Кросненська зона та покриви: Дуклянський, Поркулецький, Чорногірський, Магурський, Рахівський.

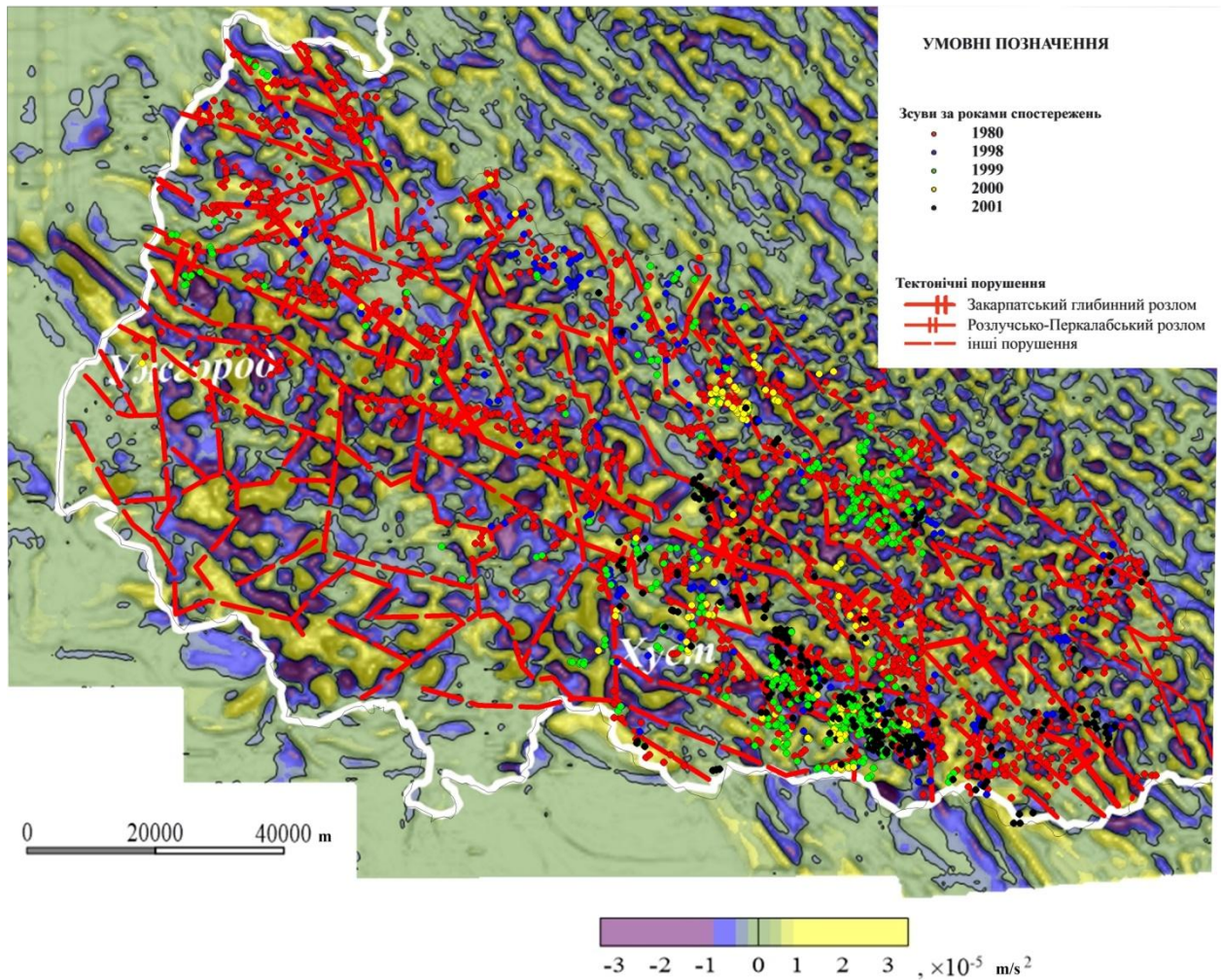


Рис. 3.3 Карта локальних аномалій поля сили тяжіння (радіус осереднення 2500 м) [118] з урахуванням поширення зсувних процесів у межах Закарпатської області

Проаналізуємо ураженість зсувними процесами в межах окремих структурно-тектонічних одиниць з урахуванням розподілу локальних аномалій гравімагнітних полів, а також геологічної будови регіону [121].

Кросненська зона складена потужною товщею піщано-глинистого флішу з прошарками пісковиків, мергелів, вапняків, поширені горизонти олістолітів, на заході зони зустрічаються товщі строкатих глин. В основному, характеризується додатним гравітаційним полем інтенсивністю до  $2 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup> та від'ємним магнітним полем середньої інтенсивності від 5 до до 15 нТл. Стиль тектоніки покривно-лусковий, ширина лусок від 0,5 до 4-5 км, які



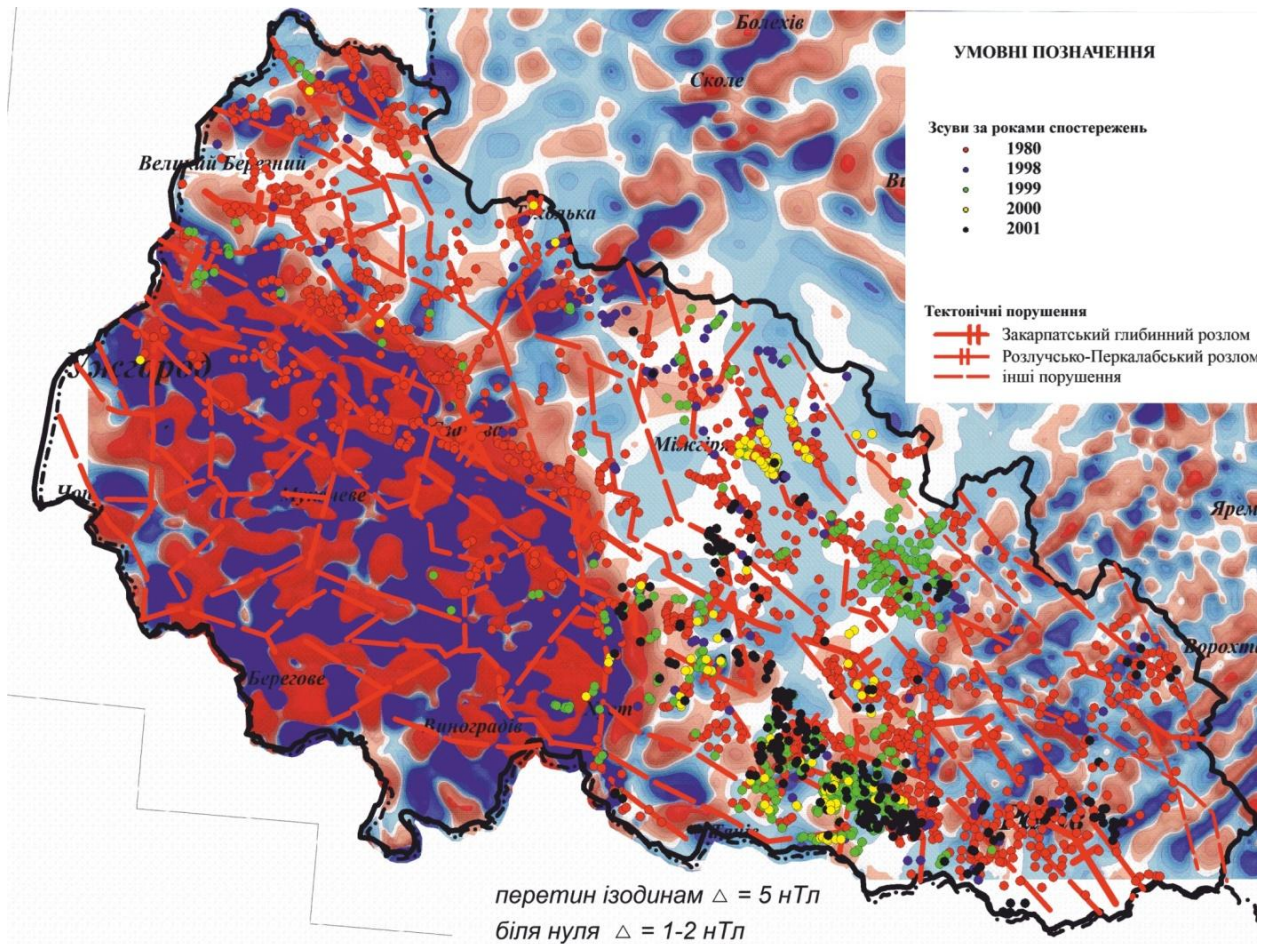


Рис. 3.4 Карта локальних аномалій магнітного поля Українських Карпат (радіус осереднення 5000 м) [118] з урахуванням поширення зсувних процесів у межах Закарпатської області

простягаються у північно-східному напрямку, залягання лусок досить круте на поверхні ( $45-80^\circ$ ). У внутрішній будові лусок переважають круті антикліналі, зустрічаються луски-монокліналі, крила яких ускладнені складками і поздовжніми розривами, що сприяє підвищеній тріщинуватості. Антиклінальна внутрішня будова лусок, круте залягання лусок, поширення горизонтів олістолітів свідчить про літологічний контакт гірських порід і добре проявляється у від'ємних гравітаційних аномаліях ізометричної форми інтенсивністю до  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>. Більшість зсувів розвиваються на схилах і за механізмом зміщення відносяться до блокових і зсувів течії з такими характеристиками. Зареєстровано 588 зсувів, коефіцієнт ураженості складає

0,03. Середні характеристики зсувів: абсолютні відмітки 632,5 м, потужність зсувних відкладів 11,8 м, середні розміри 302.7×268 м, крутизна схилів 26,8°.

Далі на південному заході простягається Дуклянський покрив, який належить до найскладніших за внутрішньою структурою і представляє собою багатоярусну складчасто-лускувату споруду. Внутрішня будова лусок складна, відзначається дрібна складчастість, перем'яті породи. У фронтальній частині на поверхню виходять найдревніші породи крейдового віку, крила і тилові частини лусок складають палеоген-неогенові відклади. У тонкоритмічному олігоцені південно-східній частині фліші часто зустрічаються гострокутні уламки пісковиків, строкатих аргілітів розміром від дециметрів до кілометра, кількість уламків становить 40-60% породи, що свідчить про значну розчленованість гірських порід. На фоні загального гравітаційного поля додатного знаку відображаються від'ємні аномалії ізометричної форми різного напрямку інтенсивністю до  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>, що відображає значну розчленованість та тріщинуватість порід. Найбільше зсувів зареєстровано на північному заході та на сході покриву, які найбільш покриті тектонічними порушеннями карпатського простягання. Зареєстровано 296 одиниць з такими середніми характеристиками: абсолютні відмітки 576 м, потужність зсувних відкладів 14 м, середні розміри зсувів 461×355 м, крутизна схилів 25°. Коефіцієнт ураженості становить 0,03.

Поркулецький покрив теж характеризується покривно-лусковим стилем тектоніки. Переважає тонкоритмічний еоценовий піщано-глинистий та піщаний фліш. Поширені дрібні складки, ускладнені розривними порушеннями, що сприяє процесам тріщинуватості та дроблення гірських порід. Лускова будова та розломні зони відображаються різкими градієнтними зонами гравітаційного поля з розмахом інтенсивності від  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup> до  $3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>, аномалії магнітного поля зменшують свою інтенсивність від 20 нТл в напрямку із північного заходу (зона контакту з ефузивними породами Вигорлат-Гутинського пасма) на південний схід до 10 нТл (контакт

з Рахівським покривом). Зареєстровано 431 зсувів, переважно блокового ковзання, з такими характеристиками: абсолютні відмітки 512,7 м, потужність відкладів 14 м, середні розміри зсувів 426,5×321,3 м, крутизна схилів 24,7°. Коефіцієнт ураженості складає 0,035.

Чорногірський покрив тільки частково захоплює незначну площу Закарпаття в південно-східній його частині. Простягання лусок співпадає з загальним простяганням зони. Переважають щільнодислоковані крейдянні відклади, які формують широку пологу, ускладнену дрібними складками синкліналь, утворену тонкоритмічним аргіліто-піщанистим флішем з перешаруванням потужних пачок пісковика. Основна маса флішових відкладів – тонкошаруваті плитчасті невапнякові аргіліти. В гравітаційному полі переважають додатні аномалії, що характеризують високогірний масив, у магнітному – від’ємні. На його території зареєстровано 24 блокових зсувів з такими характеристиками: абсолютні відмітки 991,8 м, потужність відкладів 22 м, середні розміри зсувів 692×517 м, крутизна схилів 26,7°. Коефіцієнт ураженості складає 0,023.

Магурський покрив у межах Закарпатської області – це клиноподібний виступ, який відділяється від Дуклянського покриву розломною зоною і складений породами палеоценового та еоценового піщано-глинистого флішу. Внутрішня структура – складчасто-луската, у складі переважають відклади палеоцену та еоцену, що утворюють антиклінальні та синклінальні складки з падінням порід 20-70°. Характеризується, в основному, додатним гравітаційним до  $3 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$  та від’ємним магнітним полем-20 нТл. Переважна більшість зсувів за механізмом зміщення належать до пластичних, характеризуються такими параметрами: абсолютні відмітки 323,3 м, потужність відкладів м, середні розміри зсувів 233×199 м, крутизна схилів 25,2°.

Рахівський покрив у вигляді смуги простягується між Мармароським та Чорногірським покривами і полого насунутий на більш зовнішні елементи

флішових Карпат. Поширені потужні флішові товщі темнобарвних теригенно-карбонатних утворень та окремі невеликі лінзи базальтоїдів та вапняків, зібрані в дрібні сильно дислоковані складки. Характерний гірський рельєф з сіткою тектонічних порушень, які відображаються градієнтною зоною гравітаційного поля лінійного простягання з інтенсивністю поля від  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup> до  $2 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup> та магнітною аномалією до 15 нТл. Коефіцієнт ураженості за площею зсувів складає 0,07. Зареєстровано 27 зсувів переважно блокового ковзання з такими характеристиками: абсолютні відмітки 649,2 м, потужність відкладів 15 м, середні розміри зсувів 646×496 м, крутизна схилів 30°.

Внутрішні Карпати на території України майже повністю перекриті молодими породами Закарпатського неогенового прогину і на денну поверхню виходять лише їх зовнішні елементи: зона Мармароських скель, Мармароський масив і зона Пенінських скель.

Зона Мармароських скель невелика за площею, але має дуже складну будову. Характерна її особливість – розвиток седиментаційних олістолітів у товщі піщано-глинистих порід, що є результатом руйнування катастрофічних обвалів і зсувів крупних блоків доаптських відкладів, які займали до денудації положення між сучасною областю їх поширення та Флішовими Карпатами. Зона складена палеогеновими відкладами у вигляді конгломератів, пісковиків і строкатих мергельно-глинистих порід, чорними аргілітами та мергелями. Загалом, зона Мармароських скель відображається додатним гравітаційним полем, на фоні якого відображається смуга перервних ізометричних аномалій від'ємного знаку до  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>, що є свідченням зон підвищеної тріщинуватості, викликані олістолітами та тектонічними порушеннями. Територія дуже уражена зсувами – коефіцієнт ураженості 0,05. Зареєстровано 220 зсувів: абсолютні відмітки 486,6 м, потужність відкладів 10 м, середні розміри зсувів 398,5×228,6 м, крутизна схилів 29,1°.

Мармароський масив насунутий на північ, на Флішові Карпати. В області його зчленування з флішовими комплексами розташована неширока контактна зона тектонічних блоків, для яких характерна автономність розвинутих,

метаморфічних і осадових порід, складених переважно, сланцями, кварцитами, місцями вапняками та пісковиками. Зверху з різким неузгодженням залягають карбонатно-теригенні товщі з потужними верхньоюрськими ефузивами. Така будова чітко проявляється в додатному гравітаційному до  $3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup> та магнітному полях з інтенсивністю до 15 нТл. Коефіцієнт ураженості 0,08. Зареєстровано 55 зсувів блокового типу з такими характеристиками: абсолютні відмітки 679,3 м, потужність відкладів 17,4 м, середні розміри зсувів 674,8×487,3 м, крутизна схилів 28,9°.

Зона Пенінських скель – це вузька природна межа між крейдовим і палеогеновим флішом Зовнішніх Карпат та моласами Закарпатського прогину. Найголовніша особливість Пенінських скель – велика роздробленість усіх без винятку осадових комплексів. Це зона гігантської брекчії, яка знаходиться також у тектонічному співвідношенні із сусідніми структурними одиницями. Характеризується надзвичайно широким розвитком малоамплітудних розломів і густою системою зон дроблення, що простежується в різких градієнтних зонах гравітаційного поля до  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>. Палеогенові флішові товщі, що залягають на крейдяних відкладах зі вм'ятими в них брилами більш древніх порід, утворюють крупні структури багатоповерхових покривів, і залягають один над іншим по похилих поверхнях насувів. Зареєстровано 22 зсуви: абсолютні відмітки 529,2 м, потужність відкладів 5,7 м, середні розміри зсувів 217,8×160,8 м, крутизна схилів 24,6°. Коефіцієнт ураженості 0,08.

Закарпатський внутрішній прогин обмежений глибинними розломами: на північному сході – Закарпатським, на південному заході – Припаннонським, які відображаються різкими градієнтними зонами гравітаційного поля. Літологічний контакт порід виділяється перехідною зоною між аномаліями різних знаків (амплітуда гравітаційного градієнта в досліджуваній зоні змінюється від  $-3$  до  $3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>) і відображає границю між Зовнішніми Карпатами (зони Мармароських та Пенінських скель) і Внутрішніми



Карпатами (Закарпатський внутрішній прогин). В полі локальних магнітних аномалій розломи відображаються від'ємними аномаліями.

Прогин складений потужним комплексом неогенових молас, дислокованими у пологі складки, ускладненими місцями соляними штоками та вулканогенними утвореннями. За структурою осадового чохла з північного сходу на південний захід виділяють зони: Крайову (моноклінальну), Центральну (соляно-діапірову з брахіскладками) і Припаннонську.

Накладним елементом прогину є Вигорлат-Гутинське пасмо шириною 20-25 км, складене потужною товщею порід вулканічної формації неогенового віку, що вилилися ефузивами, андезитами, андезито-базальтами, ліпаритами та їх туфами і перекриті товщею (до 10 м) елювіально-делювіальних відкладів – суглинками жовтувато-бурого кольору, що містять значну частину подрібненого і перевідкладеного вулканічного матеріалу. Товща інтенсивно роздроблена різноманітно орієнтованими розривними порушеннями і ускладнена вторинною складчастістю субмеридіального напрямку [129-130]. Вигорлат-Гутинське пасмо своєю ділянкою меридіального напрямку розділяє Центральну зону Закарпатського прогину на Мукачівську та Солотвинську западини. Остання характерна тим, що на її поверхні присутні переважно баденські та частково сарматські відклади, а в її розрізі поширені соленосні породи.

Вулканічні породи (андезити, базальти та їх туфи) хребта відображаються сильними аномальними зонами додатного знаку як у гравітаційному (до  $3 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>) так і в магнітному полях (до 20 нТл). Від'ємні гравітаційні аномалії ізометричної форми вказують контакт порід різного літологічного складу і зосереджені в пониженнях рельєфу (240-360 м) пов'язані з алювіальними відкладами (галькою з домішками гравію, піску та глини) долин річок. Більшість зсувів розвиваються на схилах річок і в зоні впливу тектонічних порушень. Зареєстровано 91 зсув переважно блокового типу: абсолютні відмітки 407,8 м, потужність відкладів 16,5 м, середні розміри зсувів 402×361 м, крутизна схилів 19,6°. Коефіцієнт ураженості 0,014.

Крайова зона розташована на північному сході прогину. Фундамент складається з метаморфічних сланців, тріасових, юрських та крейдових відкладів, а також з флішових відкладів. Глибина фундаменту збільшується в напрямку із заходу на південний схід – від 53 м до 1000 м. Припаннонський розлом виділяється різким градієнтом сили тяжіння і розділяє Крайову зону та Припаннонську. У Крайовій зоні прогину переважає гравітаційне поле додатного знаку, що пояснюється присутністю низки похованих стратовулканів в будові яких присутні штоки андезитових порфіритів або куполи андезитів. Додатні гравітаційні аномалії ізометричної форми, центральна частина яких утворена ланцюгом більш інтенсивних до  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$  аномалій овальної форми з діаметром 5-10 км. Присутність вулканічних порід також відображається в додатному полі магнітних аномалій інтенсивністю до 15 нТл. Зареєстровано 80 зсувів: абсолютні відмітки 462,5 м, потужність відкладів 6,75 м, середні розміри зсувів  $80 \times 221$  м, крутизна схилів  $24^\circ$ . Коефіцієнт ураженості 0,04.

У Центральній зоні фундамент складений метаморфізованими вулканогенними та крейдово-теригенними відкладами і опущений по розломах на глибину від 2200 до 3400 м. Загальна структура фундаменту блокова. Поширені і солянодіапірові і брахіантиклінальні складки, до яких приурочені ефузивні й інтрузивні неогенові вулканічні утворення. Розмір складок співвимірний з вулканоструктурами, а простягання – близьке до карпатського і лише в деяких прирозломних структурах – антикарпатське. Смуга стратовулканів виділяється в гравітаційному полі додатними аномаліями ізометричної форми, в центрі яких проявляються інтенсивніші значення  $2-3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ , аналогічно вони відображаються в аномаліях магнітного поля до 20 нТл. Антиклінальні складки навколо вулкан оструктур виділяються ізометричними аномаліями карпатського простягання з пониженим гравітаційним полем до  $-2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$  та магнітними аномаліями -20 нТл. Зареєстровано 470 зсувів, які розвиваються на гірських схилах та

долинах річок: абсолютні відмітки 464,5 м, потужність зсувних відкладів 5,6 м, середні розміри зсувів 238×181 м, крутизна схилів 25,3°. Коефіцієнт ураженості 0,012.

Зона Підгалля складена породами палеогенового флішу, перекритими вулканічними відкладами Вигорлат-Гутинського пасма і на денну поверхню виходить у межах незначної за площею ділянки в північно-західній частині прогину. Посередині, в напрямку із заходу на схід, зону перетинає Припаннонський розлом, що відображається різкими градієнтними зонами гравітаційного поля (від  $-3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup> до  $3 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>) та від'ємними аномаліями магнітного поля. Зареєстровані поодинокі зсуви: абсолютні відмітки 380 м, потужність відкладів 3,8 м, середні розміри зсувів 93,8×65 м, крутизна схилів 16,3°.

### **3.3. Приуроченість зсувних процесів до розломних зон**

Зони розломів представляють собою геодинамічні системи, які постійно знаходяться у напруженому стані (поєднання процесів стиснення і розтягу). Над ними можуть формуватись перекривні структури, проте вони все одно залишаються зонами тріщинуватості, інтенсивного дроблення порід, підвищеної проникності, що сприяє зменшенню стійкості порід верхніх шарів геологічного середовища.

Як зазначається у [123], “на відміну від поверхневих структур глибинні розломи формують потужні зони завширшки від кілометрів до десятків кілометрів”. Подібні зони називають зонами “динамічного впливу розломів” [124], і в таких зонах розподіл тріщин має широкий діапазон розмірів та напрямків, утворення яких залежить від глибини, властивостей порід, гідрологічних та тектонічних умов (стиск, розтяг), величини накопичених напружень, що перевищують міцність порід в околицях розлому [125-128].

Загальним геодинамічним режимом регіону є стиск у антикарпатському (південний захід – північний схід) напрямку з підняттям на 1-2 мм/рік денної поверхні. [129]. Особливістю даного регіону є

інтенсивна дислокованість, наявність розломів різних напрямків і порядків. Основним розломом є Закарпатський, для якого характерна блокова структура, висока рухливість та контрастність коливальних рухів, ширина зони впливу коливається від декількох сотень метрів до 5–5,5 км [130].

У таблиці 3.2 наведено співвідношення між кількістю зсувопроявів та відстанню до найближчого розлому у межах структурно-тектонічних одиниць. Як бачимо, існує пряма залежність: більшість зсувних процесів

Таблиця 3.2

Приуроченість зсувів до розломних зон із урахуванням тектонічного районування

Тектонічна зона	Кількість зсувів	Відстань від зсувів до розломних зон		
		1,5 км	2,5 км	3,5 км
кількість зсувів/відсоток від загальної кількості зсувів у тектонічній зоні				
<b>Зовнішні Карпати</b>				
Кросненська зона	588	250/42,5%	385/65,5%	495/84,2%
Дуклянський покрив	296	120/40,5%	189/63,9%	252/85,1%
Чорногірський покрив	24	16/66,7%	23/95,8%	24/100%
Поркулецький покрив	431	196/45,5%	287/66,6%	367/85,2%
Магурський покрив	18	9/50%	12/66,6%	15/83,3%
Рахівський покрив	27	17/40,7%	25/92,6%	27/100%
<b>Внутрішні Карпати</b>				
Зона Мармароських скель	220	118/53,6%	158/71,8%	184/83,6%
Зона Пенінських скель	22	19/86,4%	22/100%	
Мармароський масив	55	37/67,3%	48/87,3%	52/94,5%
Зона Підгалля	4	3/75%	4/100%	
Вигорлат-Гутинське пасмо	91	54/61,5%	79/72,5%	83/80,2%
Центральна зона	470	179/39,8%	287/62,8%	386/80,2%
Крайова зона	80	35/41,7%	65/77,4%	74/88,1%
Припаннонська зона	18	14/77,8%	18/100%	

розвиваються в радіусі до 2,5 км – у першу чергу, це притаманно для Чорногірського, Рахівського покривів, зон: Пенінських скель, Підгалля, Припаннонської (90–100 % зсувів). Для решти зон – частка розвитку зсувів становить від 65 до 87%.

Оскільки геолого-геофізична інформація носить ймовірнісний характер, то для аналізу та обробки даних застосовують статистичні методи, які поділяються на параметричні і непараметричні. Однією з умов застосування параметричних методів є нормальний розподіл досліджуваних даних, для непараметричних методів – ця умова не обов’язкова. Перевірка на нормальний розподіл виконувалась за допомогою тесту Шапіро-Уїлка і засвідчила, що нормальний закон характерний для параметрів: “абсолютна відмітка”, “кут нахилу денної поверхні "голови" зсуву”, “відстань до ріки”; решта параметрів – “сумарна довжина розломів”, “відстань до розломів”, “площі гравімагнітних аномалій” розподілені за логнормальним законом або законом Вейбула. Якщо вибірка не описується нормальним законом розподілу, середні значення використовувати некоректно, оскільки на них сильно впливають крайні значення елементів вибірки. В таких випадках найкраще характеризує вибірку медіана (значення параметра, праворуч і ліворуч якого знаходиться рівна кількість спостережень), для нормально розподілених величин значення медіани і середнього є близькими (табл. 3.3).

Для визначення структури просторових взаємозв’язків між поширенням зсувів і розглянутими параметрами застосуємо факторний аналіз (табл. 3.4), за допомогою якого можна виділити групи незалежних чинників, які насправді є власними векторами кореляції даних і дослідити їхню дію та інтенсивність впливу на процеси утворення зсувів.

Факторний аналіз виконувався з обертанням координатних осей методом варімакс, який дозволяє отримати матрицю навантажень на кожен фактор таким чином, щоб вони максимально відрізнялися між собою.

Таблиця 3.3

Значення медіани досліджуваних параметрів відповідно до тектонічного районування

Тектон зона	Площа зони, км <sup>2</sup>	Площа зсувів, км <sup>2</sup>	Кіл-сть зсувів	Сумарна довжина розломів, км	Відстань до ріки, км	Відстань до розломів, км	Абсолют. відмітка "голови" зсуву, м	Кут нахилу денної поверхні "голови" зсуву, град.	Площа від'ємних гравітаційних аномалій, км <sup>2</sup>	Площа додатних магнітних аномалій, км <sup>2</sup>
Зовнішні Карпати										
Кросненська зона	2500,4	72,72	588	337,6	0,22	1,73	637,5	26,9	31,51	42,61
Дуклянський покрив	1938	59,11	296	296,5	0,28	1,8	575	25,8	28,36	33,13
Чорногірський покрив	505,6	12,11	24	59,3	0,29	1	880	26,7	6,7	5,8
Поркулецький покрив	1885,9	68,36	431	332,3	0,3	1,67	445	24,7	27,6	43,24
Магурський покрив	158,2	0,77	18	31,3	0,22	1,48	280	25,2	0,37	0,45
Рахівський покрив	138	9,79	27	24,6	0,42	0,91	665	30	5,15	5,83
Внутрішні Карпати										
Зона Мармароських скель	521,5	28,12	220	90,3	0,27	1,67	460	29,1	10,33	19,7
Зона Пенінських скель	97,3	1,66	22	20,4	0,25	0,72	472,5	24,6	0,36	0,8
Мармароський масив	279,9	22,48	55	53,2	0,46	1,12	675	28,9	19,1	12,8
Зона Підгалля	15,6	0,08	4	4,5	0,33	0,80	458,6	16	0,03	0,02
Вигорлат-Гутинське пасмо	1429,3	14,85	91	240,5	1,04	0,38	350	19,6	9,99	10,6
Центральна зона	2558,9	31,21	470	414,4	0,31	1,96	420	25,3	16	20,2
Крайова зона	171,2	7,87	80	4,2	1,69	0,29	421,3	24	4,1	4,37
Припаннонська зона	910,2	2,78	18	120,4	0,27	0,77	447,5	20,4	2,4	1,38

Таблиця 3.4

## Матриця факторних навантажень на досліджувані параметри

Факторні характеристики	Фактор 1	Фактор 2
Сумарна довжина розломів, км	0,862	-0,138
Відстань до ріки, км	-0,222	-0,728
Відстань до розломів, км	0,720	0,535
Абсолютна відмітка зсуву, м	-0,075	0,635
Кут нахилу денної поверхні зсуву, град	0,023	0,853
Площа від'ємних гравітаційних аномалій, км <sup>2</sup>	0,922	0,088
Площа додатних магнітних аномалій, км <sup>2</sup>	0,889	0,095
Частка загальної дисперсії	0,42	0,28

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільшою інтенсивністю характеризуються чотири параметри – “сумарна довжина розломних зон”, “відстань до розломів”, “площі від'ємних гравітаційних” та “додатних магнітних аномалій”, які прямо корелюють з фактором 1 і мають найбільшу частку загальної дисперсії – 0,42. Це вказує на те, що вони відображають один процес, у даному випадку, можна припустити, що фактор 1 – це поширення зсувних процесів. Ці чотири параметри відіграють вагому роль, оскільки вони характеризують загальну тріщинуватість та подрібненість гірських порід у радіусі впливу тектонічних порушень.

Фактор 2 показує вплив рельєфу на розвиток зсувів і визначається зв'язком параметрів: “абсолютна відмітка "голови" зсуву”, “кут нахилу денної поверхні "голови" зсуву” та “відстань до ріки”. Обернена кореляція параметра “відстань до ріки” із поширенням зсувів свідчить про те, що вони розвиваються далеко від річок і не лише під впливом просторових геолого-геофізичних умов: геологічної, тектонічної будови, літологічного складу, типу рельєфу, ступеня зруйнованості верхнього шару порід, але й, значною мірою, зумовлюються зовнішніми впливами – аномальними значеннями атмосферних опадів [17]. Як бачимо, геоморфологічні параметри мають

набагато меншу частку загальної дисперсії (0,28), тому їх вплив не є визначальним. Отже, два фактори пояснюють 70% загальної дисперсії.

**Висновок.** Якісна інтерпретація особливостей поведінки гравімагнітних полів у зонах поширення зсувів дозволяє оцінити природні умови їхнього формування та розвитку. Виявлені зв'язки між впливом розломних зон на зсувні процеси за їхнім відображенням у гравімагнітних полях, які можуть у майбутньому застосовуватись підчас просторового прогнозу розвитку зсувів для споріднених структурно-тектонічних умов.

В результаті виконаних досліджень встановлено:

1) приуроченість зсувів до геофізичних аномалій, які відображають розломні зони та зони тріщинуватості гірських порід, що свідчить про доцільність застосування гравірозвідки та магніторозвідки для картування послаблених зон гірських порід;

2) гравітаційні аномалії добре корелюють з геологічною та тектонічною будовою регіону: підвищені значення інтенсивності в районах гірських масивів зумовлені породами високої густини, такими як неогенові вулканічні породи та метаморфічні породи; від'ємні аномалії відображають неогенові та четвертинні відклади, високі градієнтні зони контролюють тектонічні порушення; більшість зсувів тяжіє до від'ємних гравітаційних аномалій, спричинених приповерхневими осадовими розущільненими породами, яким у зонах зсувів притаманна втрата міцності;

3) осадові та метаморфічні породи картуються аномаліями різного знаку через невелику намагніченість та контрастність густини порід; інтенсивні аномалії магнітного поля пояснюються впливом вулканічних порід високої намагніченості; більша кількість зсувів у межах додатних магнітних аномалій пов'язана з типом порід та геометрією приповерхневих товщ, яка сформована під впливом виступів фундаменту.

Слід вважати доведеною необхідність вивчення гравітаційного та магнітного поля при аналізі зсувної активності та її прогнозуванні.



## **РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ЧИННИКІВ АКТИВІЗАЦІЇ ЗСУВІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗНИХ ПАРАМЕТРІВ**

### **4.1. Аналіз закономірностей розподілу часових чинників та їх зв'язок з активізацією зсувних процесів**

Зсувні процеси слід розглядати як динамічну систему, що характеризується складними структурними зв'язками. Стан такої системи можливо передбачити при виявленні та детальному вивченні основних та другорядних впливових чинників. Головним завданням даної роботи є часовий прогноз на основі аналізу та взаємозв'язків часових природних чинників, оскільки вони зумовлюють певні зміни в структурі верхніх шарів порід. Спочатку проведено дослідження для виявлення прогнозних параметрів, періодичність яких обумовлює або якимось чином пов'язана із закономірностями виникнення катастрофічної активізації зсувних процесів у Карпатському регіоні.

Теоретичною основою часових регіональних прогнозів є вчення про періодичність природних процесів. З літературних джерел [48-56,76,82] добре відомий зв'язок сонячної активності, регіональної періодичності у часовому розподілі атмосферних опадів з періодами активізації зсувних процесів. У відомій роботі В.В. Кюнцеля [53] детально описані встановлені різні за часом періодичності стійкі ритми зсувної активності, атмосферної циркуляції, опадів, геофізичних і геліофізичних параметрів для різних регіонів ЄСРСР. Так, для Чорноморського узбережжя встановлена залежність, що описується лінійною регресією між часом найбільшої активізації зсувних процесів з сонячною активністю.

Досить широко застосовуються методи спектрального аналізу часових рядів різноманітних чинників і пов'язаних з ними часових розподілів кількості зсувів. Перевага таких методів полягає у тому, що при недостатньому вивченні складних зв'язків між причинами та зсувопрооявами,

прогноз активізації останніх можливий, так як вплив окремих чинників інтегрально закладений у самих часових рядах.

У частині часового прогнозу, у наш час найбільш перспективним вважається прогноз часу активізації зсувних процесів, що базується на уявленні про закономірну повторюваність більшості природних явищ, у тому числі зсувів, на території земної кулі або окремих його частин. Думка про те, що екзогенні геологічні процеси є ритмічними, висловлювалась в низці наукових праць.

Зокрема в [4] сказано, що “закономірна повторюваність проявів зсувів через певні проміжки часу, зумовлена дією певної сукупності природних та антропогенних чинників. Під ритмічністю розуміється відрізок часу між двома закономірно повторюваними екстремальними значеннями активізації зсувного процесу на досліджуваній території”. У роботі [160] наводиться часовий прогноз розвитку карсту на Передкарпатті.

З літературних джерел [48,53-56,76,82] добре відомий зв'язок сонячної активності та регіональної періодичності в часовому розподілі атмосферних опадів, температури, сейсмічності з періодами активізації зсувних процесів. У роботі [53] детально описані встановлені ритми зсувної активності, атмосферної циркуляції, опадів, деяких геофізичних і геоморфологічних параметрів, специфічних для окремих ділянок, для різних районів колишнього СРСР. Основні методи й приклади обробки даних режимних спостережень описані в роботах [55,56]. У роботі [85] на основі аналізу часових рядів зроблено ряд основних висновків щодо часових закономірностей мінливості зсувних процесів, сонячної активності і атмосферних опадів. Так, вважається, що стійкі періоди коливання сонячної активності складають у середньому 11.1 років. З ними пов'язані різноманітні природні явища: атмосферні опади, температура води в Північній Атлантиці і т. д. Зв'язок 11-річного ритму сонячної активності з активізацією зсувних процесів відмічають О.П. Ємельянова, А.І. Шеко [48,55].

А. І. Шеко, В. С. Круподеров та ін. розробили прогноз розвитку зсувів і інших екзогенних геологічних процесів на Чорноморському узбережжі. Відсутність необхідних часових рядів зсувів було заповнено аналізом рядів основних впливових на їх розвиток чинників - атмосферних опадів, штормів, коливань рівнів моря. Після виявлення кореляційних зв'язків між зсувами і вказаними чинниками було складено прогноз активізації зсувів до 2000 р. [55].

Встановлено екстремальне збільшення частоти зсувів у Києві у 1905, 1915, 1924 і 1936 роках. Прийнято (В. В. Кюнтцель), що для європейської території колишнього СРСР даний ритм достатньо стійкий. Крім 10-річного ритму встановлено 11-річний ритм зсувної активності. Для зсувів Молдови виявлено чітке чергування років з високою зсувною активністю, підпорядковане 10 і 11-річним ритмам [53].

З наведеної інформації можна зробити висновок про існування загальних періодичних закономірностей у проявах зсувних процесів, стабільних на протязі багатьох років. Значна частина активізації зсувів пов'язана із 10- і 11-річними ритмами. Для деяких районів спостерігаються і інші гармонічні складові (для Криму і Молдови встановлена також 9-річна ритмічність).

Як теоретична основа для аналізу чинників, що змінюються в часі, у [55,56] пропонується комплекс класичних статистичних методів, спеціалізованих евристичних процедур і адаптивних статистичних методів:

- кореляційно-регресійний аналіз;
- спектральний аналіз;
- аналіз інтегральних кривих аномалій;
- аналіз по частинах 11-річного сонячного циклу;
- адаптивні моделі.

Досвід застосування зазначених методів свідчить про відсутність взаємооднозначної відповідності в рядах активізації зсувів і змінних часових чинників - наявність аномалій для кожного окремо взятого чинника є необхідною, але недостатньою умовою для масової активізації зсувів.

Враховуючи досвід прогнозування зсувної активності, до основних об'єктивних природних часових чинників, що не залежать від антропогенної діяльності, у регіональному плані варто віднести: сонячну активність, метеорологічні (атмосферні опади, температуру повітря), гідрогеологічні (рівень ґрунтових вод), сейсмічні (землетруси), вплив планет та Місяця. Зазначені чинники можуть корелювати один з одним, хоча це й не обов'язково [131-135]. Періоди кореляції звичайно погоджуються з активізацією зсувів. Тому питання з'ясування закономірності активізації зсувів – це питання кореляції часових рядів різних чинників.

#### **4.2. Результати дослідження можливого зв'язку між періодичністю екстремальних опадів, активізацією зсувів та фазами Місяця**

Як відомо, західний регіон є найбільш зволуженим. Кількість опадів, їхній сезонний розподіл у різних частинах Карпат (передгір'я, низько- і середньогір'я, високогір'я) помітно відрізняються. Середньорічні суми опадів змінюються у межах 550–1660 мм і більше. У Передкарпатті їх випадає від 550 до 800 мм, у Закарпатті 600–800 мм на рівнині і 800–1000 мм у низькогір'ї. Найбільше опадів є у найвищій частині Карпат (понад 1700 мм/рік). Більша їхня частина (від 76% на північно-східному макросхилі до 67% на південно-західному) випадає у теплий період. Максимум опадів спостерігається переважно в червні (80–200 мм/місяць), іноді у липні. Найбільша кількість сильних дощів у Передкарпатті випадає в липні (ймовірність 58%).

Вагомим чинником є сума опадів за добу. “Максимальна добова сума опадів змінюється в межах 121–296 мм. Інтенсивність дощів може сягати 2,6–7,0 мм/хв. Частота випадіння сильних дощів становить 95–100 % щороку. Частка таких дощів у місячній нормі опадів сягає 40 %, імовірність опадів із сумою 70 мм за дощ становить 48 % від загальної кількості сильних дощів. За опадів у 120–250 мм/добу процеси поверхневого стоку є надзвичайно інтенсивні. З гірських водозборів площею 100–200 км<sup>2</sup> модуль стоку сягає

2500–3100 л/с·км<sup>2</sup>; модуль стоку з басейнів площею 300–500 км<sup>2</sup> становить 1000–2000 л/с·км<sup>2</sup>. Такі зливові дощі призводять до інтенсивного поверхневого стоку, паводків, схилової та руслової ерозії, руйнування орних земель, доріг, мостів, інших комунікацій” [31-32, 76].

Охарактеризовані параметри кліматичного та гідрологічного режимів дають підставу думати про існування значної залежності між цими чинниками та впливом інших параметрів. Зокрема, є обґрунтування для пошуку такого зв’язку з Місяцем.

Дати довготривалих інтенсивних опадів у Західному регіоні України (Закарпаття, Прикарпаття, Буковина), які зумовили паводки, екзогенні геологічні процеси відображені в роботах [147-149]. Ці дані охоплюють період з 17 липня 1947 р. по 30 червня 2020 р. і наведені в таблиці 4.2. Розрахунок фаз Місяця виконано за допомогою сервера <http://www.moonday.in.ua/calc.php>.

Як видно з табл. 4.1, найбільше екстремальні опади реєструються влітку (червень-липень, таких випадків 13 з 23), про що згадувалось у роботах [15, 25,29]. Для обґрунтованого аналізу часових зв’язків і виявлення циклів між фазами Місяця та періодами аномальних опадів застосовувалась автокореляційна функція (АКФ) та одномірний спектральний аналіз Фур’є (рис. 4.1). Загалом за згаданий часовий проміжок чітко виділяються періоди впливу фаз Місяця - 5, 7, 10, 12, 17, 19, 22 років.

Якщо простежити за фазами Місяця, то великі затяжні дощі групуються в періоди, коли Місяць знаходиться у фазі останньої чверті, першої чверті та декілька випадків зареєстровано під час фази Нового та Повного Місяця. Цікавою особливістю є те, що у 11 випадках із 14 (остання чверть) та у 2 випадках із 5 (перша чверть) опади відбуваються від початку і до середини фази – упродовж 1-3-х днів.

Таблиця 4.1.

Узгодженість екстремальних опадів Карпатського регіону з фазами Місяця

Дати екстремальних опадів	Період в днях	Період в роках	Тривалість фаз Місяця	Територія опадів
17.07.47			з 11/07/47 по 17/07/47 ост. чв.	Прикарпаття
08.01.48-09.01.48	171	0,5	з 03/12/48 по 10/01/48 ост. чв.	Закарпаття
30.07.55	2722	7,5	з 26/07/55 по 02/08/55 перш. чв.	Прикарпаття
14.12.57	854	2,3	з 14/12/57 по 20/12/57 ост. чв.	Прикарпаття, Закарпаття
01.04.62	1547	4,2	з 29/03/62 по 03/04/62 ост. чв.	Закарпаття
03.07.64	812	2,2	з 02/07/64 по 08/07/64 ост. чв.	Закарпаття
10.07.67	1087	3,0	з 07/07/67 по 13/07/67 нов. міс.	Прикарпаття
08.06.69-13.06.69	689	1,9	з 07/06/69 по 13/06/69 ост. чв.	Прикарпаття, Буковина
13.05.70-18.05.70	334	0,9	з 13/05/70 по 20/05/70 перш. чв.	Закарпаття, Буковина
21.07.74-24.07.74	1508	4,1	з 19/07/74 по 25/07/74 нов. міс.	Прикарпаття
19.04.79-22.04.79	1708	4,7	з 19/04/79 по 22/04/79 ост. чв.	Прикарпаття
22.07.80-26.07.80	453	1,2	з 20/07/80 по 26/07/80 перш. чв.	Закарпаття
18.05.91-21.05.91	3896	10,7	з 20/05/91 по 27/05/91 перш. чв.	Прикарпаття
17.11.92	539	1,5	з 25/10/92 по 01/11/92 нов. міс.	Прикарпаття
07.09.96-09.09.96	1370	3,8	з 04/09/96 по 11/09/96 ост. чв.	Прикарпаття, Буковина
03.11.98-05.11.98	776	2,1	з 28/10/98 по 03/11/98 перш. чв.	Закарпаття
23.11.99-25.11.99	380	1,0	з 23/11/99 по 28/11/99 повн. міс.	Закарпаття
20.06.01-23.06.01	567	1,6	з 14/06/01 по 20/06/01 ост. чв.	Прикарпаття
10.06.02-11.06.02	350	1,0	з 10/06/02 по 17/06/02 нов. міс.	Закарпаття
13.07.03-15.07.03	393	1,1	з 13/07/03 по 20/07/03 повн. міс.	Закарпаття
25.07.08-28.07.08	1812	5,0	з 25/07/08 по 31/07/08 ост. чв.	весь регіон
07.07.10-08.07.10	702	1,9	з 04/07/10 по 10/07/10 ост. чв.	Прикарпаття, Закарпаття
11.06.12-12.06.12	694	1,9	з 11/06/12 по 17/06/12 ост. чв.	Прикарпаття
18.06.20 – 23.06.20	2887	7,9	з 18/06/20 по 20/06/20 ост. чв. з 21/06/20 по 27/06/20 нов. міс	весь регіон

- Примітка: в таблиці курсивом виділені роки зареєстрованої активізації зсувів

Розглянемо детально кожен фаза. Всього під час фази останньої чверті зафіксовано 14 випадків аномальних опадів. Для цієї фази характерні періоди 5, 7, 10, 12, 17, 19, 22 роки. Наступною фазою, яка виділяється сильними дощами, є фаза першої чверті – 5 випадків. Періодичність опадів така: 7, 10-11, 18, 21 рік. Під час фази Нового Місяця зареєстровано 4 випадки, часовий проміжок між якими становить 10, 18 р; у фазі Повного Місяця зафіксовано два значення, тривалість між якими 3,6 роки (рис. 4.2).

Аналізуючи дані, які зображено на рис. 4.3, можна зробити припущення про існування залежностей між складовими чинниками, які сприяють розвитку ЕГП, де важливу роль відіграє вплив Місяця.

На діаграмі рисунка виділено ймовірні закони розподілу для фаз. Цікавим є факт, що вплив Місяця є неоднорідним протягом синодичного періоду. Це дає змогу нам провести розподіл його впливу на групи чинників.

Активізація зсувів відбувається через день-два після інтенсивних опадів, коли ґрунти перезволожені, та узгоджується з іншими чинниками. Зростання активізації від фази першої чверті до фази Повного Місяця можна охарактеризувати як природну складову, її розподіл відповідає нормальному закону. При цьому значну інтенсивність і найбільшу кількість зливових опадів, яка призвела до зсувопроявів, спостерігаємо в період першої половини останньої чверті, що відповідає логнормальному закону розподілу.

Для того, щоб пояснити це, потрібно детально проаналізувати вплив місячних циклів як нової характеристики в розрізі його взаємозв'язку з іншими чинниками, зокрема сонячною активністю.

Спектральний аналіз Фур'є виділяє періоди таких пар: 2-2,4, 5-5,5, 6,6-7,3, 9,4-12, 16,5-18, 21-22, які узгоджуються з АКФ і є спільними для всіх фаз. Періоди 5-5,5, 6,6-7,3, 9,4-12, 21-22 є кратними півперіоду, періоду та подвійного періоду сонячної активності. Можна помітити, що гармоніки 5,5-6 та 9,4, 11 років присутні у спектрах всіх зазначених фаз і в цілому періоді.

Цикли 5,5-6,0 та 11 років узгоджується з пів періодом та періодом сонячної активності, а гармоніка 9,4 роки відповідає пів періоду циклу Місяця (18,6р.). Оскільки, роки реєстрації масової активізації зсувів співпадають з періодами найбільших опадів, то бачимо спільні періоди: 2, 5, 7, 9-10, 12, 19, 22 роки.

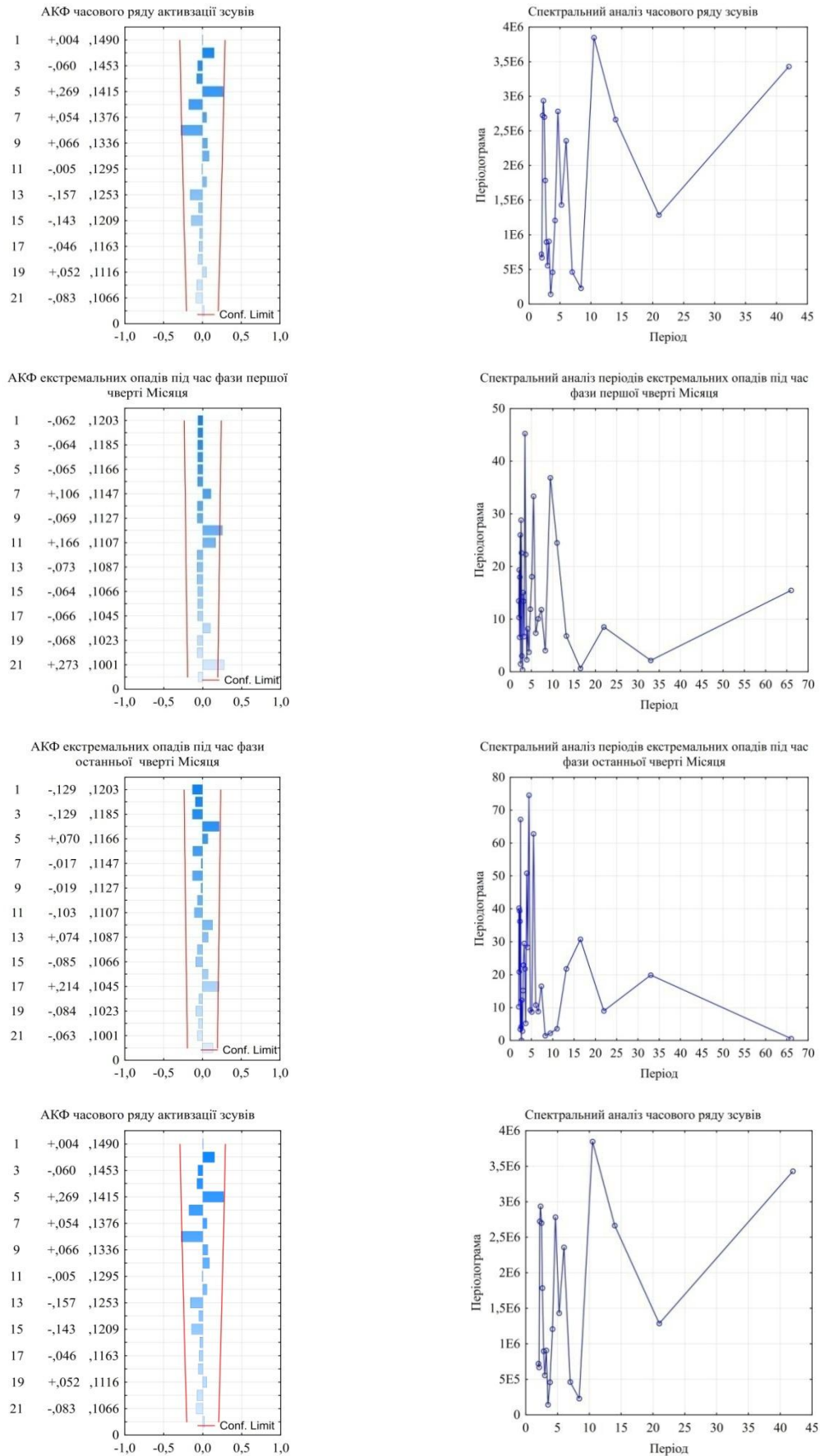
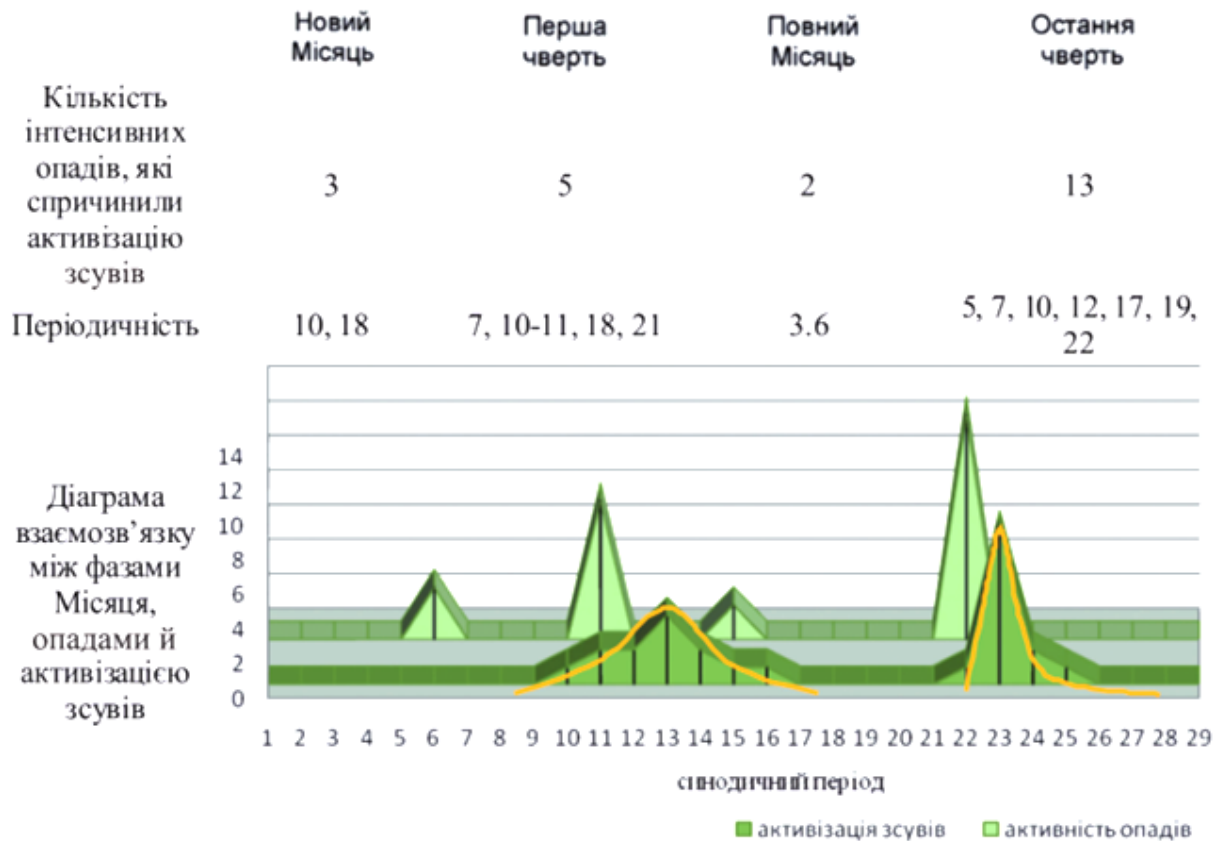


Рис. 4.1. Результати аналізу зв'язку між циклами фаз Місяця й періодами аномальних опадів





*Примітка.* Проміжки часу, через які фази Місяця повторюються в тому самому порядку, називають *синодичний* місяць, він триває 29,53 доби

Рис. 4.2. Вплив фаз Місяця на періодичність аномальних опадів [15].

Отже, проведений первинний статистичний аналіз часового ряду екстремальних опадів тривалістю 72 роки дозволив виявити якісний та кількісний взаємозв'язок періодичних закономірностей у впливі Місяця на погоду, зокрема, на формування довготривалих аномальних опадів. Проте, узгодженість періодів, структури спектрів екстремальних опадів з урахуванням місячних фаз і періодів активізації зсувів вказує на можливий зв'язок між ними, але не є чітким доведенням причинно-наслідкових зв'язків впливу лише фаз Місяця. Це підтверджує наявність гармонік кратних сонячній активності [15].

#### 4.3. Аналіз деяких природних часових чинників інженерно-геологічних регіонів для довгострокового прогнозування зсувів

Відповідно до схеми регіонально-зонального інженерно-геологічного районування [103], на території Карпатського регіону України в межах

Закарпатської та Чернівецької областей виділяються два інженерно-геологічні регіони: Закарпатський внутрішній прогин (З), Карпатська складчаста система (Ж). Аналіз поширення зсувів відносно інженерно-геологічного районування наведений у публікації [14].

Розглянемо особливості природних часових чинників для території, що досліджується.

*Температура повітря та атмосферні опади*, впливаючи на верхній шар геологічного середовища, сприяють рельєфоутворюючим процесам таким як вивітрювання, ерозія поверхневих гірських порід, формування паводків та повеней.

Крім взаємовпливів температури й опадів, слід зазначити відсутність закономірності в їхній кореляції, тобто зв'язок цей не стійкий. Тому температурний чинник як незалежний враховується в часовому розподілі зсувів. Із загальних фізичних міркувань цей чинник додатково впливає на зсувну активність у зв'язку із впливом на стан снігового покриву й сніготанення, влітку – на інтенсивне випаровування, а також на вивітрювання гірських порід.

Важливою особливістю взаємозв'язку ЕГП із режимом опадів є притаманність періоду активізації з раптовими зливовими опадами після відносно безводного періоду. Переважно активізація настає з деяким запізненням (місяць і більше) і пов'язана з повільними і поступовими змінами вологості в межах усієї товщі зсувних відкладів.

У роботі [78] кліматичні особливості поставлені на перше місце серед умов, які найбільш часто сприяють утворенню зсувів: "...уже зверталася увага на те, що періоди утворення зсувів і різноманітних зсувних рухів повсюдно збігаються з періодами дощів, танення снігу й т.д. Для таких явищ особливо сприятливі райони, яким властиві тривалі дощі, що сприяють значному й глибокому промочуванню та насиченню водою гірських порід на схилах. У районах з інтенсивними зливовими опадами більша частина води швидко стікає з вододілів і схилів і лише незначна частина йде на

інфільтрацію. У посушливих районах інтенсивно випаровується волога та відбувається висушування гірських порід на схилах, що, природно, підвищує їхню стійкість”.

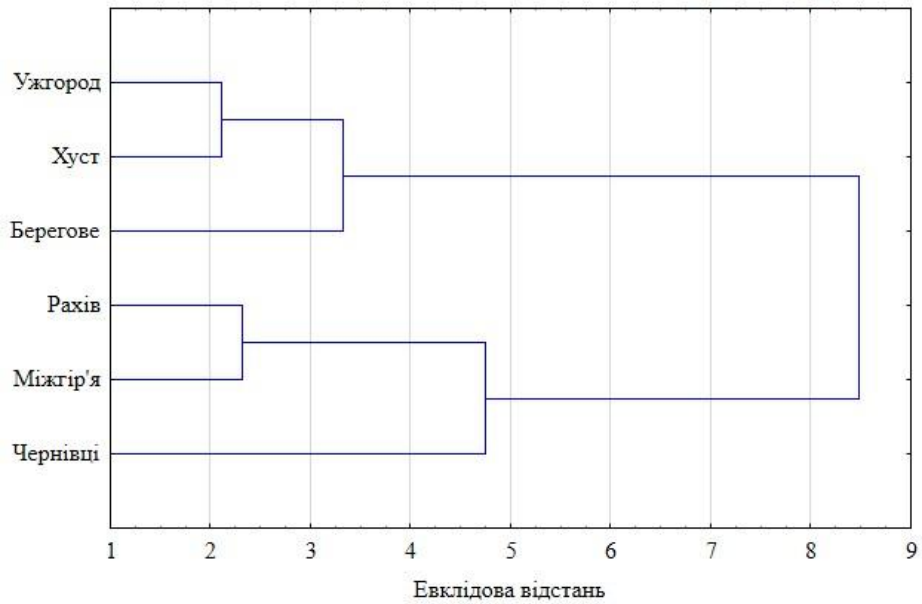
Встановлено, що активізація зсувів має сезонну складову. Зокрема, виявлено, що для гірських районів Карпатського регіону майже всі зсувні процеси відбуваються в найбільш вологий весняно-літній період, який характеризується аномально високою кількістю опадів.

Залежно від циркуляції повітря, підстилаючої поверхні (рельєфу, гідрографічного чинника) розподіл температури та атмосферних опадів суттєво відрізняється в окремих інженерно-геологічних регіонах. Для вибору метеостанцій з однорідними даними проводився кластерний аналіз. Об'єднання метеостанцій у кластери здійснювалось методом зваженого попарного середнього, який застосовується, коли кластери містять різну кількість об'єктів.

Відомо, що на відмінності в розподілі метеопараметрів суттєво впливає абсолютна відмітка метеостанції, яка характеризує приналежність до рівнинної чи гірської території. Кластерний аналіз виділяє три кластери (рис. 4.3). В окремий однорідний кластер групуються метеостанції Ужгород, Берегове, Хуст, що належать до Закарпатського внутрішнього прогину (Верхньотисенська котловина та Закарпатська акумулятивна рівнина).

Однорідний кластер формують метеостанції Рахів, Міжгір'я, що належать до Карпатської гірсько-кладчастої системи (Ж-3 – середньо- та низькогірних масивів Вододільно-Верховинських Карпат та Ж4 – середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських гірських хребтів).

Дендрограма розподілу середньорічної температури повітря між метеостанціями Карпатського регіону (метод зваженого попарного середнього)



Дендрограма розподілу сумарної річної кількості опадів між метеостанціями Карпатського регіону (метод зваженого попарного середнього)

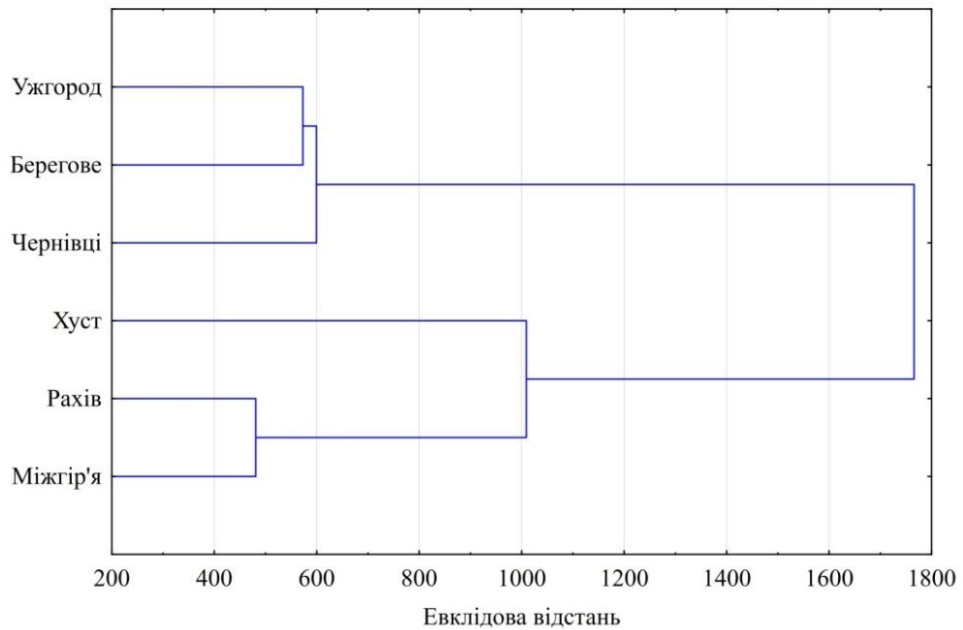


Рис. 4.3. Ієрархічний кластерний аналіз розподілу зв'язків метеопараметрів між метеостанціями Карпатського регіону

Окремим кластером виділяється метеостанція Чернівці, яка відноситься до Передкарпатського прогину (область акумулятивно-денудаційних рівнин Передкарпатської височини Ж1).

Для досліджуваного регіону характерна зміна метеоумов зі зміною абсолютних відміток – збільшення висоти супроводжується зменшенням температури та зростанням кількості опадів (рис. 4.4, рис. 4.5).

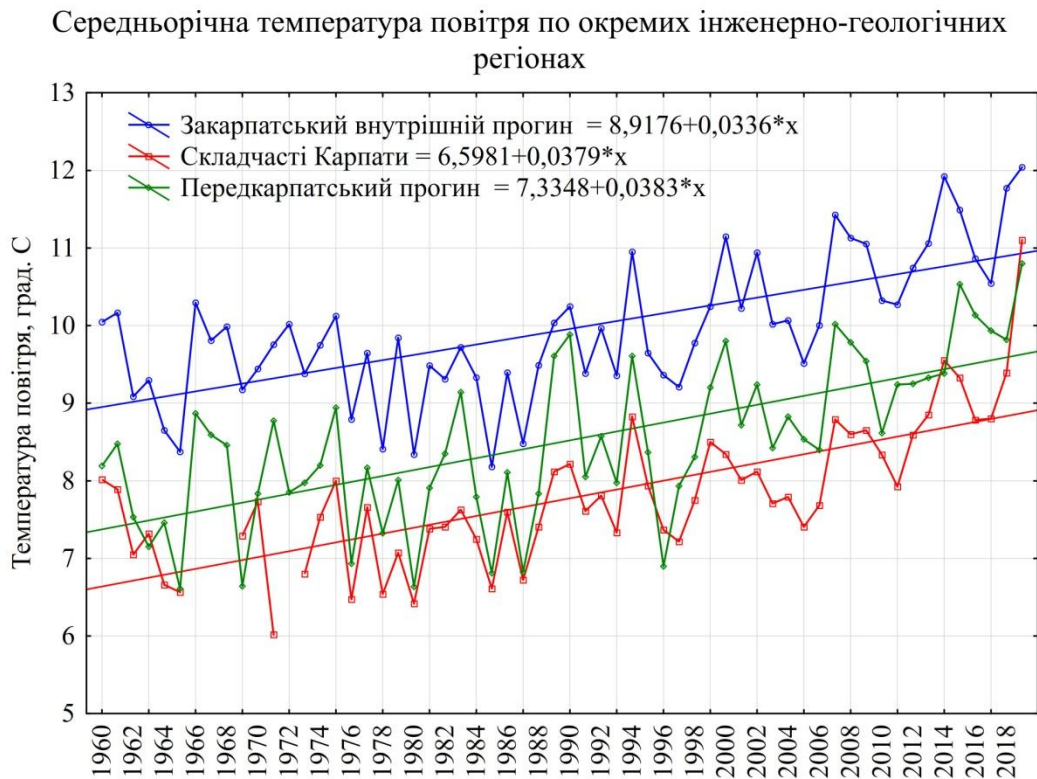


Рис.4.4. Графіки зміни середньорічних значень температури повітря протягом досліджуваного періоду

Розподіл температури повітря відмінний для окремих інженерно-геологічних регіонів (рис. 4.4). На графіках середньорічних значень температури повітря чітко простежується зростаючий лінійний тренд.

Для Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат приріст температури в середньому за десятиріччя становить  $0,38 \text{ }^{\circ}\text{C}$  або ( $2,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  за весь досліджуваний період), для Закарпатського прогину – відповідно  $0,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  за весь період). Така тенденція свідчить про важливість і динамічність у часі цього чинника. Зміна  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  веде до значних коливань для інших природних чинників, зокрема опадів, рівнів ґрунтових вод.



Рис.4.5. Графіки зміни сумарної річної кількості опадів протягом досліджуваного періоду

Найвищі значення середньорічної температури повітря характерні для Закарпатського внутрішнього прогину ( $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), трохи нижча температура для рівнинних територій Передкарпаття ( $7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), найнижчі значення середньорічної температури характерні для Гірських Карпат ( $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Такий розподіл температур пояснюється наявністю природного бар'єру – гірських масивів Карпат, які захищають Закарпатський регіон від холодного арктичного повітря.

Динаміка опадів території досліджень показує, що вагомий вплив на розподіл опадів відіграють абсолютні відмітки та форма рельєфу регіону (рис. 4.5). Для Карпатського регіону характерна синхронізація опадів по всій території. Зустрічаються роки, коли сумарна кількість атмосферних опадів суттєво більша, ніж середнє значення. Найбільш яскраво виражені роки, коли річна кількість опадів перевищує середньобогаторічне значення більше, як на 19-20 %. Перезволоження ґрунтів дощовими водами є однією з головних причин порушення стійкості порід, що призводить до розвитку

зсувів. Саме в роки аномальної кількості опадів спостерігається активізація зсувів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2.

Узгодженість сумарної річної кількості опадів Карпатського регіону з роками активізації зсувів

Інженерно-геологічний регіон	Середньобогаторічна сумарна річна кількість опадів, мм/з урахуванням перевищення на 19-20 %	Роки, коли зареєстровано кількість опадів більшу на 19-20 %	Роки масової активізації зсувів
Закарпатський внутрішній прогин	810/973	1966 (982) 1970 (984) 1974 (1075) 1980 (1091) 1998 (1085) 1999 (1011) 2001 (975) 2008 (1003) 2010 (1104)	1970 1974 1980 1998 1999 2001 2008 2010
Складчасті Карпати	1180/1416	1970 (1593) 1974 (1448) 1980 (1529) 1995 (1496) 1998 (1650) 2001 (1583) 2002 (1427) 2007 (1440) 2008 (1564) 2010 (1415)	1970 1974 1980 1995 1998 2001  2008 2010
Передкарпатський прогин	672/799	1965 (825) 1969 (844) 1970 (822) 1974 (843) 1978 (852) 1980 (885) 1998 (800) 2001 (867) 2005 (831) 2008 (868) 2010 (927)	1969 1970 1974  1980 1998 2001 2005 2008 2010

Для Закарпатського внутрішнього прогину амплітуда сумарної річної кількості опадів змінюється від 508 до 1104 мм при середньому значенні 811 мм. У досліджуваному періоді виділяються декілька років із перевищенням більше 20% – 973 мм багаторічного середнього значення, а саме: 1970, 1974, 1980, 1998-1999, 2001, 2008, 2010 рр [25].

Для регіону Складчастих Карпат коливання сумарної річної кількості опадів характерне в межах 765 – 1650 мм при середньому значенні 1180 мм. Перевищення на 20% багаторічного середнього значення становить 1416 мм і фіксується у 1970, 1974, 1980, 1995, 1998, 2001-2002, 2008, 2010 роках.

Для Передкарпатського прогину сумарна річна кількість опадів змінюється від 439 до 927 мм при середньому значенні 672 мм. Перевищення на 19% багаторічного середнього значення становить 799 мм і зареєстровано у 1965, 1969-1970, 1974, 1978, 1980, 1995, 1998, 2001, 2005, 2008, 2010 роках.

*Грунтові води.* Вплив ґрунтових вод на формування зсувів полягає у збільшенні навантаження на схил води, що міститься у водоносному горизонті, гідродинамічного тиску від фільтраційного потоку вод, змочування поверхні дзеркала ковзання зсувного тіла та зменшення зчеплення зсувних і підстелених порід, що приводить до зниження стійкості гірських порід. Коливання рівня ґрунтових вод можуть порушуватись через довготривалі аномальні атмосферні опади, адже останні суттєво підвищують зволоження схилів, що зумовлює різкі коливання (підняття) верхніх шарів ґрунту [153]. У роботах [141,142] зазначено, що в спектрах варіацій рівня підземних вод добре виділяються місячно-сонячні припливи, що підтверджені спектральним аналізом.

Для гідрогеологічних умов Закарпатського внутрішнього прогину характерна наявність водоносних горизонтів і комплексів, приурочених до потужної товщі осадових відкладів і ефузивних утворень. Гідрогеологічний розріз складають товщі відкладів, представлених галечником, гравієм, валунами з домішками піщано-глинистого матеріалу, у верхній частині розрізу місцями зустрічаються суглинки, супіски, рідше глини. Водовмісні



породи підстеляються піщано-глинистими відкладеннями. Глибина залягання рівня ґрунтових вод у середньому 3-5 м [153].

Гідрогеологічні умови регіону Складчастих Карпат визначаються головним чином, тектонічними особливостями території. Характерним є широкий розвиток флішових порід, представлених ритмічним переверстуванням аргілітів, алевролітів і пісковиків, а також наявність у покрівлі суглинного і глинистого делювію. Глибоко врізані річкові долини і балки часто оголюють корінні породи, місцями повністю дреноуючи їх. Ґрунтові води у сучасних алювіальних відкладах приурочені до заплавно-руслових частин річкових долин. Водовмісними породами в гірській місцевості є гравійно-галечникові утворення, що заповнюють товщу валунів і брил. У верхів'ях річок, де вони типово гірські, потужність алювію всього 1-3 м, іноді до 10 м. Потужність водовмісних порід 0.4-16 м (переважають 2-3 м). Глибина залягання рівня не перевищує 1-3 м [153].

Для гідрогеологічних умов Передкарпатського прогину характерна слабка водозбагаченість порід через дреноуючий вплив густої річкової мережі. Ґрунтові води приурочені до піщаних, піщано-суглинкових порід (у долинах річок) та галечникових відкладів із піщаним та суглинковим заповнювачем, перекритих лесовими суглинками і безпосередньо, у лесових суглинках. У долині Прута і його приток сучасні алювіальні утворення представлені переважно пісками дрібно- і середньозернистими, галечником, рідше суглинками. Глибина залягання цих вод від 0 до 11 м (частіше – 3-4 м) [153].

*Сейсмічний вплив* на зсувонебезпечні схили проявляється як у силовій формі на об'єми гірських порід, які можуть переміститися вниз по схилу, так й у зміні їх стійкості [129-130]. При цьому найбільше змінюється міцність порід, які перебувають у водонасиченому стані. У таких породах під сейсмічним впливом при порушенні стійкості схилу можуть виникати зсуви, у першу чергу зсуви-течії.

Українські Карпати можна віднести до помірно активних, проте доведено, що навіть низька активність сейсмічних струшувань може

провокувати виникнення вторинних інженерно-геологічних явищ, таких як зсуви, просідання ґрунту тощо [134-137], тому вивчення впливу енергії землетрусів на активізацію зсувів є доречним. Оскільки зсувні зони розташовані на близьких відстанях від епіцентральної зони Закарпаття, вплив деяких сильніших землетрусів можна спостерігати у двох, а деколи навіть у трьох виділених зонах. У роботах [133-137] встановлено, що в періоди підвищення сонячної активності підвищується сейсмічна активність у зонах стиску Землі та одночасно знижується активність у зонах розтягу Землі. Для врахування впливу сейсмічності на активізацію зсувних процесів аналізувались ряди землетрусів Закарпатського внутрішнього прогину, регіону Складчастих Карпат та Передкарпатського прогину, а також прилеглих територій (Румунії, Угорщини, Словаччини).

Закарпатський внутрішній прогин належить до найбільш сейсмоактивних регіонів України. Прогин обмежений глибинними розломами: Закарпатським на північному сході та Припанонським на південному заході, де реєструються землетруси з гіпоцентрами на глибині 2-10 км, силою до 6-8 балів за шкалою MSK-64. Приповерхневі коркові землетруси є небезпечними для геологічного середовища, оскільки викликають різні вторинні ефекти (рухи, залишкові деформації в ґрунтах, зсуви) [129].

Сейсмічність регіону Карпатської гірськоскладчастої системи зумовлена тим, що Карпати є молодими горами, де відбувається активна тектонічна діяльність. Реєструються землетруси невеликої сили з магнітудою до 3, гіпоцентри яких тяжіють до розломних зон [130].

Передкарпатський прогин характеризується загалом спорадично-диференційованою місцевою сейсмічністю із землетрусами порівняно невеликої сили (переважно магнітуда сягає до 3,5, інтенсивність струшувань до 6 балів) [137].

*Вплив сонячної активності.* В низці основних монографій по дослідженню екзогенних геологічних процесів, у тому числі зсувів,

відзначається зв'язок сонячної активності з ритмічністю зсувів. Механізм цього впливу до теперішнього часу повністю не вивчений. За [134] зв'язок сонячної діяльності з активізацією зсувів здійснюється опосередковано, шляхом передачі енергії, а також через вплив на клімат Землі, у першу чергу на закономірності циркуляції повітряних мас, атмосферних опадів, температуру. Разом з тим у [142] зазначені факти як додатної, так і від'ємної кореляції цих явищ і чинників із сонячною активністю, а також відсутність кореляції для різних проміжків часу й різних територій. Багато дослідників знайшли докази існування впливу СА на метеорологічні параметри. Так, у тій же монографії проаналізовані роботи науковців, у яких 11-річний цикл пов'язувався з опадами, температурою повітря, атмосферним тиском, вітром, шляхами циклонів. Зазначено, що кореляція між числом Вольфа (СА) і річною сумою опадів може бути додатною, від'ємною або бути відсутньою, залежно від того, де зроблені метеорологічні виміри. Зокрема, для “середньо широтних 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 [152] 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. Крім цього, у праці [162] наголошується, що “зараз при прогнозних оцінках космічного впливу на земні катастрофи більшість дослідників, в основному, враховують тільки зміну сонячної активності, а саме її максимуми. Проте, як показали дослідження, на розвиток катастрофічних подій впливає не тільки підвищення енергетичного навантаження, але і його зменшення. Також встановлено, що розвиток катастрофічних подій починається за 2-3 роки до його максимуму та закінчується через 2 роки. Наступний період катастрофічних подій починається біля мінімуму сонячної активності”. Таке

спостереження підтверджується наявним рядом зсувної активності Закарпаття (табл. 4.3) за період, що аналізувався (1960-2019 рр.).

Таблиця 4.3

Узгодження екстремальних значень чисел Вольфа з активізацією зсувів Закарпаття за період 1960-2019 рр.

Роки екстремальних значень чисел Вольфа	Період 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
2008 (мінімум)	2007-2009	2010	2 р. після мінімуму
2019 (мінімум)	2019-2020	2020	1 р. після мінімуму

- Тривалість періодів екстремальних значень чисел Вольфа взято з сервера National Geophysical Data Center

З таблиці видно, що періоди екстремальних значень СА тривають приблизно 2-3 роки та мають накопичувальний вплив 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 реакція середовища розвитку ЕГП на аномальну кількість атмосферних опадів”.

## **РОЗДІЛ 5. ДОВГОСТРОКОВИЙ (БАГАТОРІЧНИЙ) ТА СЕРЕДНЬОСТРОКОВИЙ (ЗА МІСЯЦЯМИ В МЕЖАХ РОКУ) ЧАСОВИЙ ПРОГНОЗ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ**

### **5.1. Довгострокове прогнозування зсувів для окремих інженерно- геологічних регіонів**

Підходи до вивчення екзогенних геологічних процесів у своїй основі мають багатофакторну структуру. Чинники, які обираються для території дослідження та типу екзогенного геологічного процесу, виражаються у вигляді факторної характеристики – мірі визначеності чинника.

Динамічність зсувних процесів у часі є науковою проблемою, що потребує постійного вивчення. Вивчення динаміки зсувів дозволило обґрунтувати, а головне, виділити групи чинників, що володіють динамічними змінами і можуть бути каталізаторами їх розвитку. У роботах [17, 25] було детально структуровані основні підходи до вибору методів часового прогнозу зсувів та чинників, що їх ініціюють.

З метою встановлення основних часових закономірностей розподілу часових чинників були використанні для аналізу літературні дані, кліматичні параметри по метеостанціях Закарпатської та Чернівецької областей, середньорічних даних по рівнях ґрунтових вод, сонячній активності; зареєстрованих землетрусів (на основі сейсмологічних бюлетенів СРСР та України) та активізації зсувів протягом 1960-2019 років.

Статистичний аналіз чинників, що зумовлюють розвиток зсувів, розпочинається із визначення теоретичного закону розподілу, який найкраще описує часовий ряд кожного чинника. Визначення теоретичного закону виконувалось за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова. Аналіз часових рядів (рис. 5.1) підтвердив для деяких з них (сумарна річна кількість опадів, середньорічна температура повітря, середньорічні рівні ґрунтових вод) відповідність реальних законів розподілу теоретичному нормальному

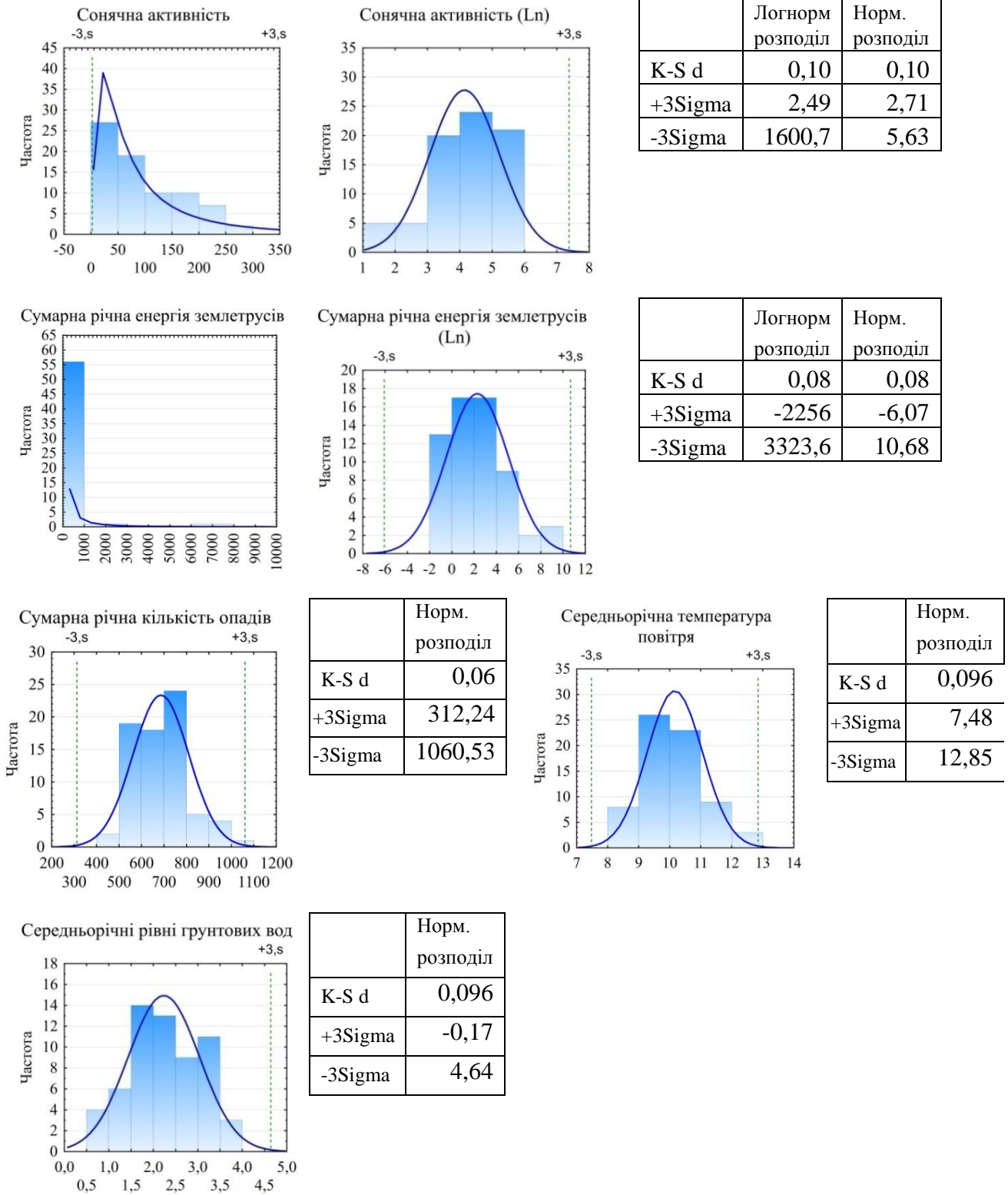


Рис. 5.1. Типові закони розподілу часових чинників розвитку зсувонебезпечності (рівень значущості  $\alpha=0.05$ ) на прикладі Закарпатського внутрішнього прогину

розподілу. Проте логнормальний розподіл притаманний сонячній активності та сумарній річній енергії землетрусів. Для наближення розподілу до нормального виконувалось логарифмування величин.

Прогнозування зсувів для окремих інженерно-геологічних регіонів виконувалось за схемою довгострокових регіональних прогнозів ЕГП [54] у такій послідовності:

1) спочатку часові ряди перевірялись на наявність тренду, якщо він значимий, то видалявся, так був виявлений лінійний тренд для середньорічної температури, який зумовлений глобальним потеплінням;

2) далі виконувалась нормалізація рядів, яка дозволяє вихідні параметри з різними розмірностями привести до єдиної безрозмірної шкали, щоб у майбутньому розрахувати інтегральний показник зсувонебезпечності

$$X_{ij}^{норм} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}, \quad (5.1)$$

де  $X_{ij}^{норм}$  - нормалізоване значення  $j$ -го чинника в  $i$ -му році;  $X_{ij}$  - значення уніфікованої характеристики для  $j$ -го чинника в  $i$ -му році;  $\bar{X}_j$  - оцінка математичного очікування в уніфікованій вибірці нормального розподілу для  $j$ -го чинника за всі роки спостережень;  $\sigma_j$  - середньоквадратичне відхилення для  $j$ -го чинника за всі роки спостережень;

3) для виділення основних або знаходження прихованих періодичностей кожного чинника розраховувалась автокореляційна функція (АКФ) та спектральний аналіз Фур'є;

4) розрахунок функції взаємної кореляції (ФВК) для виділення можливих зміщень у часі рядів активізації зсувних процесів відносно чинників, що її ініціюють та приведення їх до синфазності;

5) кореляційний аналіз з урахуванням зміщення часових рядів чинників дозволив отримати зростання величин коефіцієнтів кореляції з чинниками розвитку зсувонебезпеки для кожного інженерно-геологічного регіону;

б) для розрахунку комплексних інтегральних показників ймовірності розвитку зсувів були обчислені коефіцієнти інформативності, які визначають вагу впливу кожного чинника на розвиток зсувів:

$$Rnp_i = \frac{\sum_j |r_{i,j}|}{\sum_i \sum_j |r_{i,j}|} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

де  $r_{i,j}$  - значення коефіцієнта парної кореляції між  $i$ -м та  $j$ - м чинником у кореляційній матриці;

7) після комплексного статистичного аналізу розраховувався інтегральний комплексний показник за формулою [85].

$$\Phi_{ij} = \sum_{j=1}^m x_{ij}^{норм} \cdot Rnp_i \quad (5.3)$$

де  $x_{ij}^{норм}$  – нормовані значення  $j$ -ої факторної характеристики зсувоутворювального процесу,  $m$  – кількість факторних характеристик,  $i$  – рік спостережень. Загалом,  $j$ -му чиннику присвоюється знак "+" при додатній кореляції з основним активізацією зсувів і "-" при від'ємній кореляції;  $Rnp_i$  – коефіцієнти інформативності кожного чинника;

8) використовуючи нормовану функцію Лапласа інтегральний показник перераховувався у значення ймовірності зсувних процесів таким чином, щоб її максимальне значення дорівнювало одиниці за методикою, описаною в [85]

$$f(\Phi_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\Phi_{ij})^2}{2}} \cdot \max(f(\Phi_{ij}))^{-1}, \quad (5.4)$$

тоді, активізація зсувів найбільш можлива, коли ймовірність досягає свого максимуму;

9) прогнозування виконувалось двома способами:

1-й спосіб – нейромережею з архітектурою багатошарового перцептронну, який дозволяє створювати асоціації між вхідними даними –



часовим рядом розрахованого інтегрального показника зсувонебезпечності та необхідним прогнозом на виході за допомогою навчання нейронної мережі, коли враховуються вагові коефіцієнти для кожного зв'язку між нейронами так, щоби модель змогла якнайкраще розпізнати часову динаміку даних (періодичність багаторічної активізації зсувів 28-30 років) і прогнозувати її поведінку у майбутньому;

2-й спосіб – функцією predict інтегрованого математичного пакету MathCad, яку використовують при прогнозуванні даних, які змінюються з певною закономірністю. Принцип дії функції такий: за рівномірно розташованими точками розраховується деяке число наступних точок, тобто робиться екстраполяція довільної, але достатньо прогнозованої залежності. Прогнозування виконувалось для періоду, що дорівнює третій частині розміру вихідного ряду. Ступінь достовірності прогнозування визначався через коефіцієнт кореляції прогнозних періодів.

З метою зменшення поодиноких викидів часовий ряд комплексного інтегрального показника згладжувався по двох-трьох точках.

Розглянемо результати прогнозування для окремих інженерно-геологічних регіонів.

### *Закарпатський внутрішній прогин (3).*

Виявлення часової періодичності кожного чинника в рядах даних зображено на рис. 5.2, 5.3.

Найбільш достовірно відображені періодичності для сонячної активності 9-13 років, атмосферних опадів – близько 10 років, температури – близько 6-7, 11 років, рівнів ґрунтових вод – 21-22 роки, сумарної енергії землетрусів – 9-10, 27 років, активізації зсувів 9-10, 21, 28-30 років (табл. 5.1).

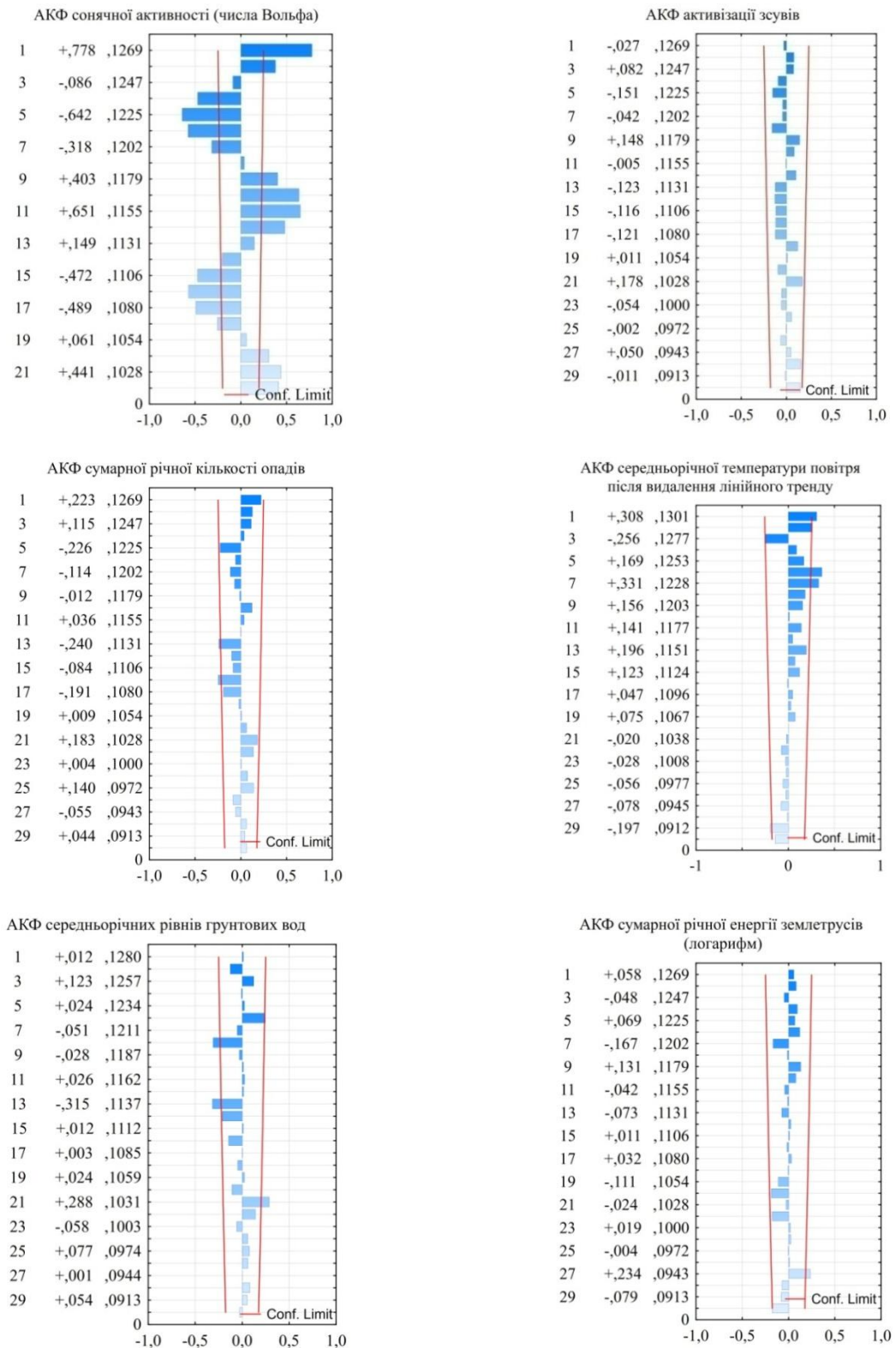


Рис.5.2. Графіки автокореляційних функцій часових рядів чинників активізації зсувів для Закарпатського внутрішнього прогину (З)

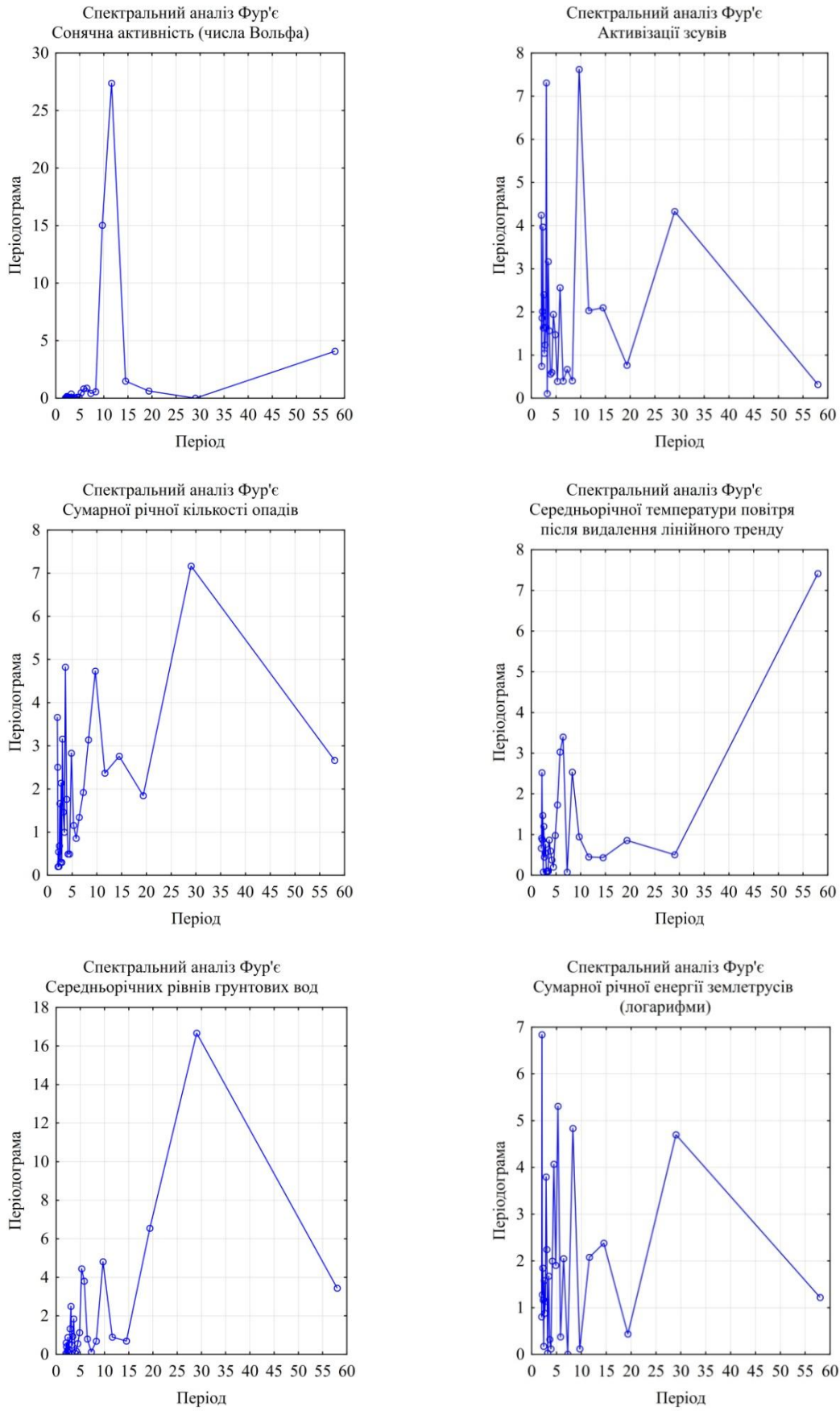


Рис.5.3. Графіки періодограм чинників активізації зсувів для Закарпатського внутрішнього прогину (3)

## Основні періодики чинників

Чинник	Періодичність
Числа Вольфа	9-12, 20-23, 31-34
Сумарна річна кількість опадів	2, 10, 21-25, 28-30
Середньорічна температура	6-7, 11,13
Середньорічні рівні ґрунтових вод	3, 6, 21-22, 24-26, 28-29
Сумарна енергія землетрусів	4-6, 9-10, 23-24, 27
Активізація зсувів	2-3, 9-10, 12, 18, 21, 28, 30

На рисунку 5.4 представлені результати попарно проаналізованих часових рядів, що дозволяють виділити базові періодики процесів розвитку та активізації зсувних процесів відносно чинників, що їх ініціюють.

Розглядаючи кроскореляційні функції, слід відмітити, що не досягнула межі довірчого інтервалу температура повітря, а це говорить про існування повільно змінного взаємозв'язку. Значні коливання ведуть до важкості використання даних у прогнозних моделях, але підсилюють їх через взаємовплив чинника температури із сонячною активністю та опадами.

Кроскорелограми показують, що для більшості чинників існує синхронний зв'язок (сумарна річна кількість опадів, середньорічна температура повітря, рівень ґрунтових вод), проте сонячна активність зміщена на 1 рік вперед відносно активізації зсувів, що можна пояснити випереджаючим впливом сонячних циклів на циркуляційні процеси атмосфери Землі.

Наявність кореляції рядів сумарної енергії землетрусів простежується за умови зміщення вперед на 5 років (половина періоду сонячної активності) відносно активізації зсувів, що можливо, пояснюється підготовчими діями сейсмічних чинників (збільшення тріщинуватості порід, наростання напружено-деформованого стану), які через роки призводять до розвитку зсувних процесів.

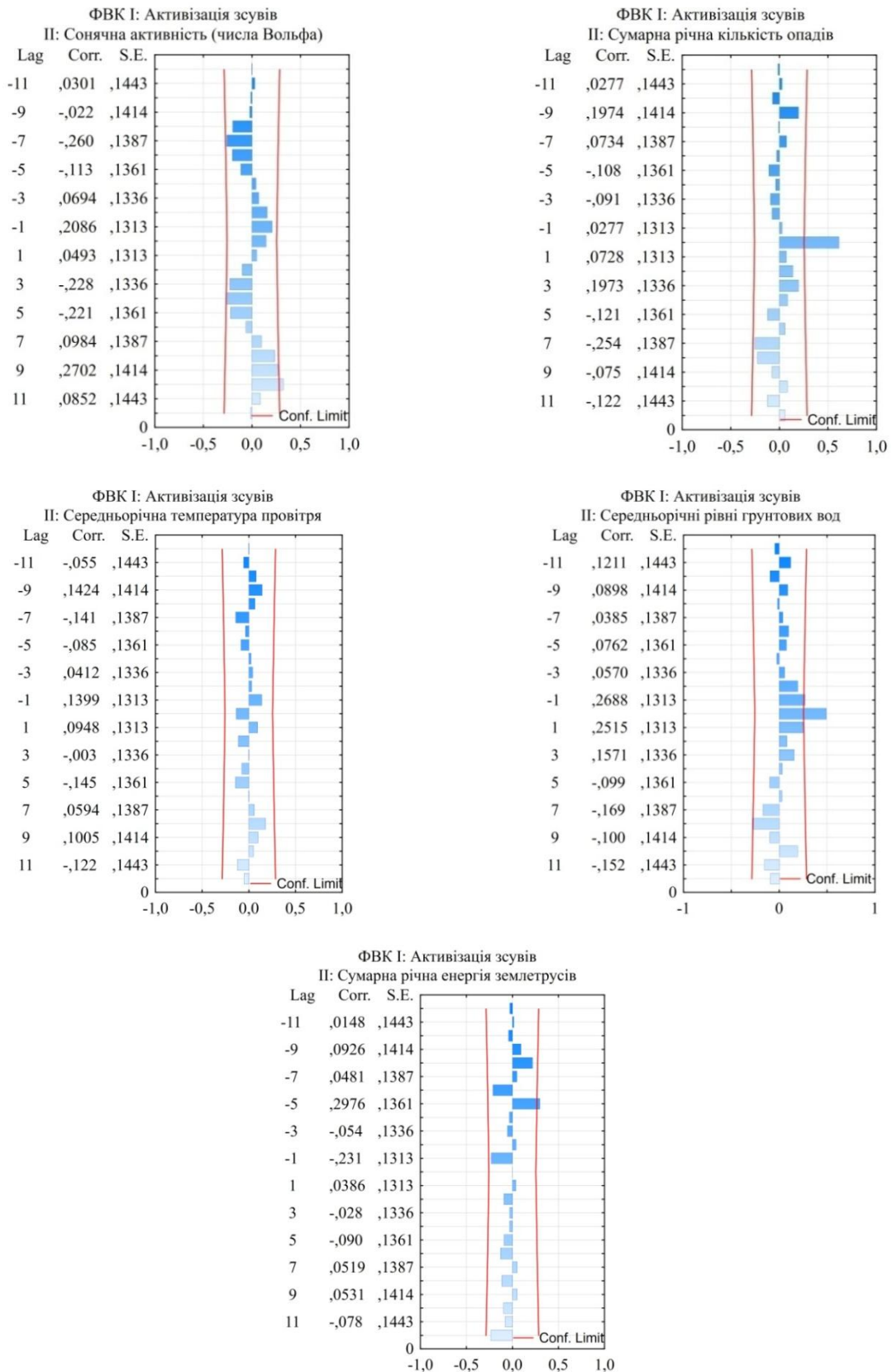


Рис. 5.4. Кроскореляційні функції між зсувною активністю та чинниками впливу для Закарпатського внутрішнього прогину (З)

Виділяються спільні періодичності в 9-11 років для сонячної активності, опадів, температури, сумарної енергії землетрусів, активізації зсувів. Атмосферні опади, рівень ґрунтових вод, сумарна енергія землетрусів мають спільну періодичність 21-25, 28-30 років із властивими їм піками у межах циклу.

З урахуванням зміщення часового ряду сонячної активності, сумарної енергії землетрусів виконаний кореляційний аналіз між чинниками (табл. 5.2).

Таблиця 5.2.

Кореляційна матриця зміщених чинників відносно активізації зсувів

Чинник	1	2	3	4	5	6
Числа Вольфа (1)	1	0,20	0,12	0,19	0,10	0,21
Сумарна річна кількість опадів (2)	0,20	1	0,02	<b>0,41</b>	<b>0,29</b>	<b>0,53</b>
Середньорічна температура (3)	0,12	0,02	1	-0,17	-0,04	0,17
Середньорічні рівні ґрунтових вод (4)	0,19	<b>0,41</b>	-0,17	1	0,10	<b>0,48</b>
Сумарна енергія землетрусів (5)	0,10	<b>0,29</b>	-0,04	0,10	1	<b>0,32</b>
Активізація зсувів (6)	0,21	<b>0,53</b>	0,17	<b>0,48</b>	<b>0,32</b>	1

Розглядаючи кореляційні зв'язки, можна оцінити розуміння того, чи існує тісний зв'язок між чинниками, що аналізуються.

Аналіз вихідних даних вказує, що опади та рівень ґрунтових вод найбільш взаємопов'язані з даними активізації зсувних процесів. Це говорить, і підтверджує те, що головними чинниками розвитку зсувних процесів є опади, які сприяють зростанню рівня ґрунтових вод, створюючи основу для змочування ґрунту в контактi з переважаючими глинисто-піщаними товщами порід і розвитком зсувів.

Майже усі чинники володіють прямим зв'язком, окрім пар температура – сумарна енергія землетрусів і температура – рівень ґрунтових вод. Для першого випадку це можна пояснити різною природою фізики процесів, які їх описують. Другий випадок пояснюється тим, що при зростанні температури підвищуються процеси випаровування у приповерхневих шарах гірських порід, що сприяє зниженню рівня ґрунтових вод.

Щоб оцінити внесок кожного чинника в інтегральний показник, за формулою (5.2) розраховувались коефіцієнти інформативності: числа Вольфа 11,43%; сумарна річна кількість опадів 33,14%; середньорічна температура 9,71%; середньорічні рівні ґрунтових вод 28,00%; сумарна енергія землетрусів 17,71%. Усі коефіцієнти інформативності показують вагомий внесок в комплексний інтегральний показник зсувонебезпеки.

Часові гармоніки можуть як найточніше описати процес імовірної зсувної активізації. Зокрема, вони дозволяють не тільки виконати інтерполяцію часового ряду на базовий період, а перевірити точність моделі у екстраполяційній складовій гармоніки.

Автокореляційний графік та спектральний аналіз інтегрального показника (рис. 5.5) виділяють основні періодичності в 10, 20, 29 років, цикли 20, 29 є спільними для обох графіків.

Прогнозування нейромережею (модель багатошаровий перцептрон з шістьма прихованими нейронами) та функцією predict наведено на рис. 5.6. Коефіцієнт кореляції для прогнозних періодів становить 0,8. Різниця часу прогнозування становить  $\pm 1$  рік.

Прогноз нейромережею виділив найбільшу ймовірність зсувів у 2020-2022 роках – першого пів циклу (2020-2023 pp.) та наступну ймовірність зсувів у 2027-2031 pp. – другого пів циклу (2026-2032 pp). Прогноз функцією predict показав зміщення максимальної ймовірності на 1-2 роки вперед у



2020-2023 та 2025-2030 роках. Така точність є прийнятною з урахуванням дискрету по роках 1 в 1, комплексна похибка складає  $\pm 1$  рік.

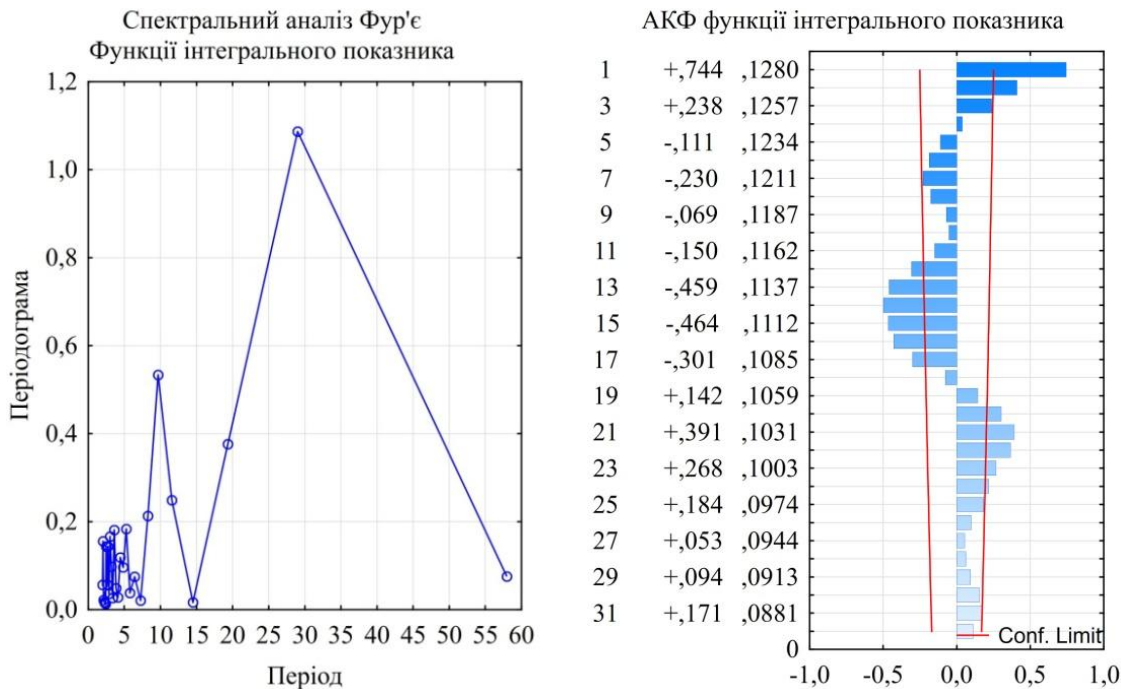


Рис. 5.5. Спектральний аналіз та автокореляційна функція інтегрального показника для Закарпатського внутрішнього прогину (З)

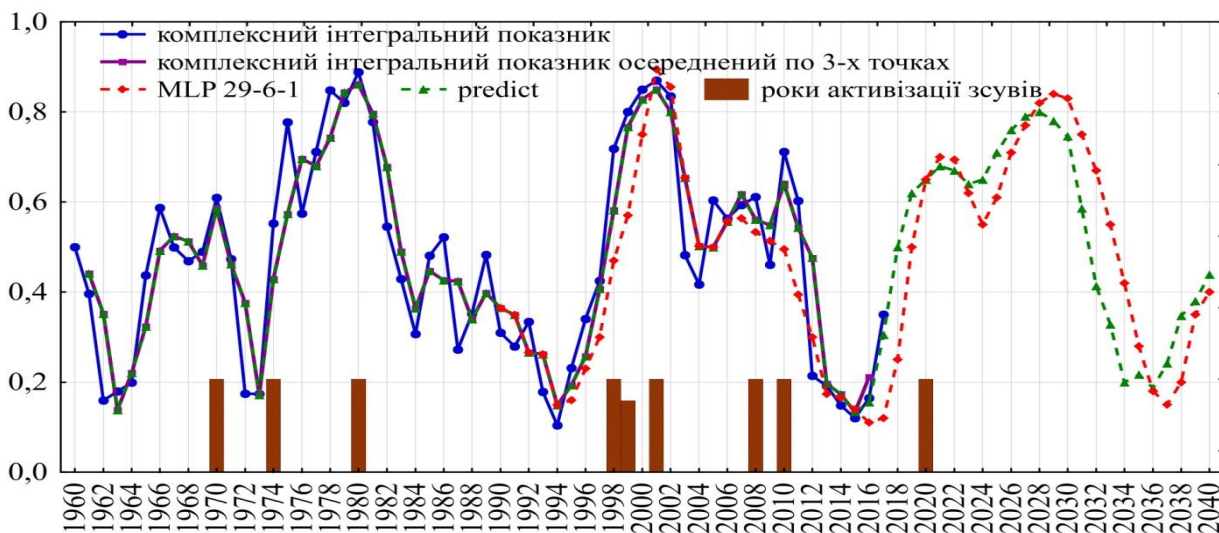


Рис. 5.6. Графіки прогнозу ймовірності зсувів для Закарпатського внутрішнього прогину (З)

Отже, в середньому, наступна активізація зсувних процесів буде спостерігатися в 2020-2022 та 2026-2031 роках [17].



*Карпатська гірськоскладчаста система (Ж). Складчасті Карпати (Ж3, Ж4).*

Як зазначається у [2], характерним для Складчастих Карпати є розвиток зсувів складного типу, що пов'язані з тонкоритмічним флішем на ділянках стику структурно-тектонічних зон неоднорідної геологічної будови. Взаємодія геологічного середовища з вологим гірським кліматом та сейсмічністю регіону є одним з основних чинників активізації зсувів.

Визначення ритмічності кожного часового чинника проводилося за допомогою автокореляційних функцій (рис. 5.7) та спектрального аналізу Фур'є (рис. 5.8).

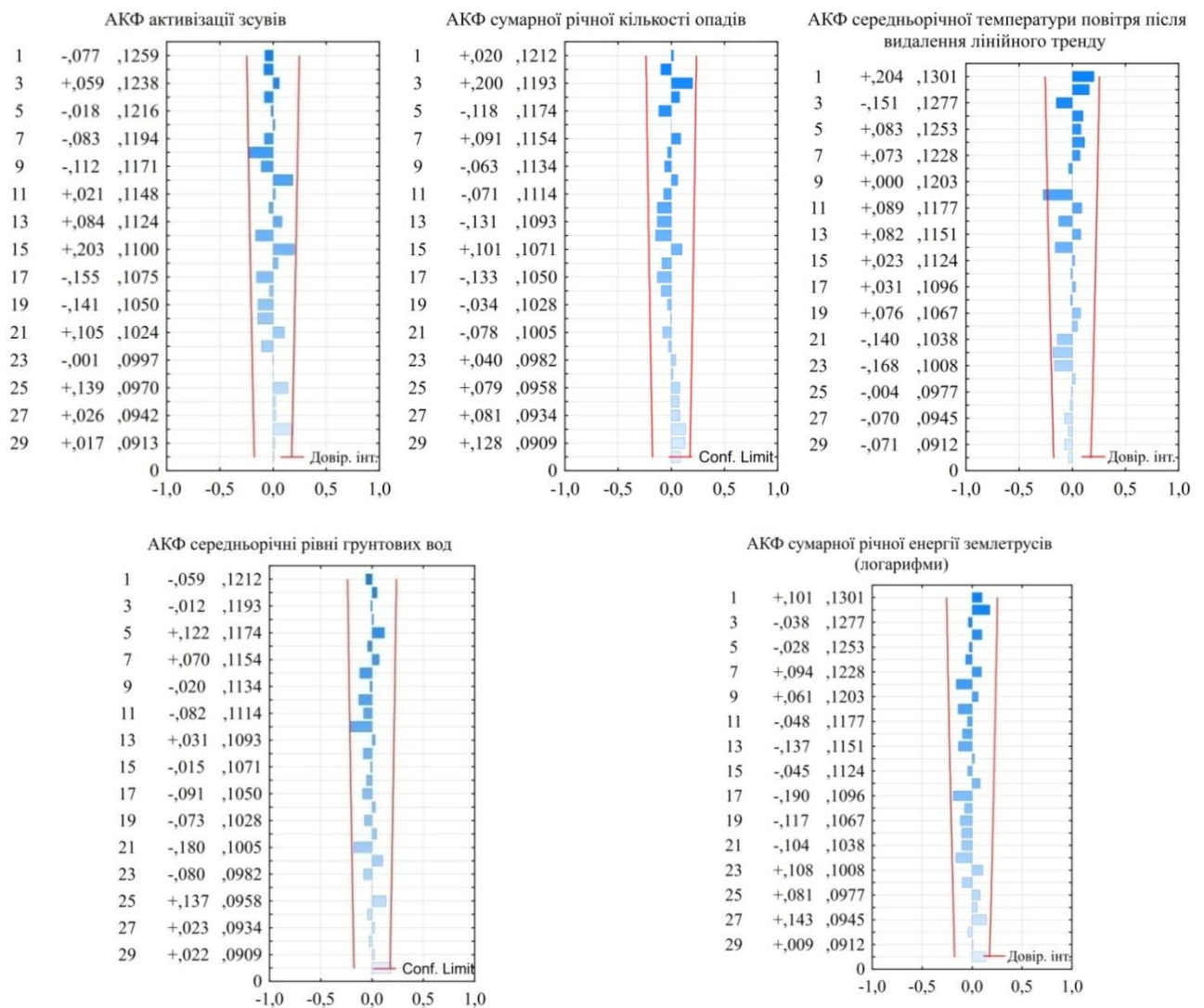


Рис.5.7. Графіки автокореляційних функцій часових рядів чинників активізації зсувів для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

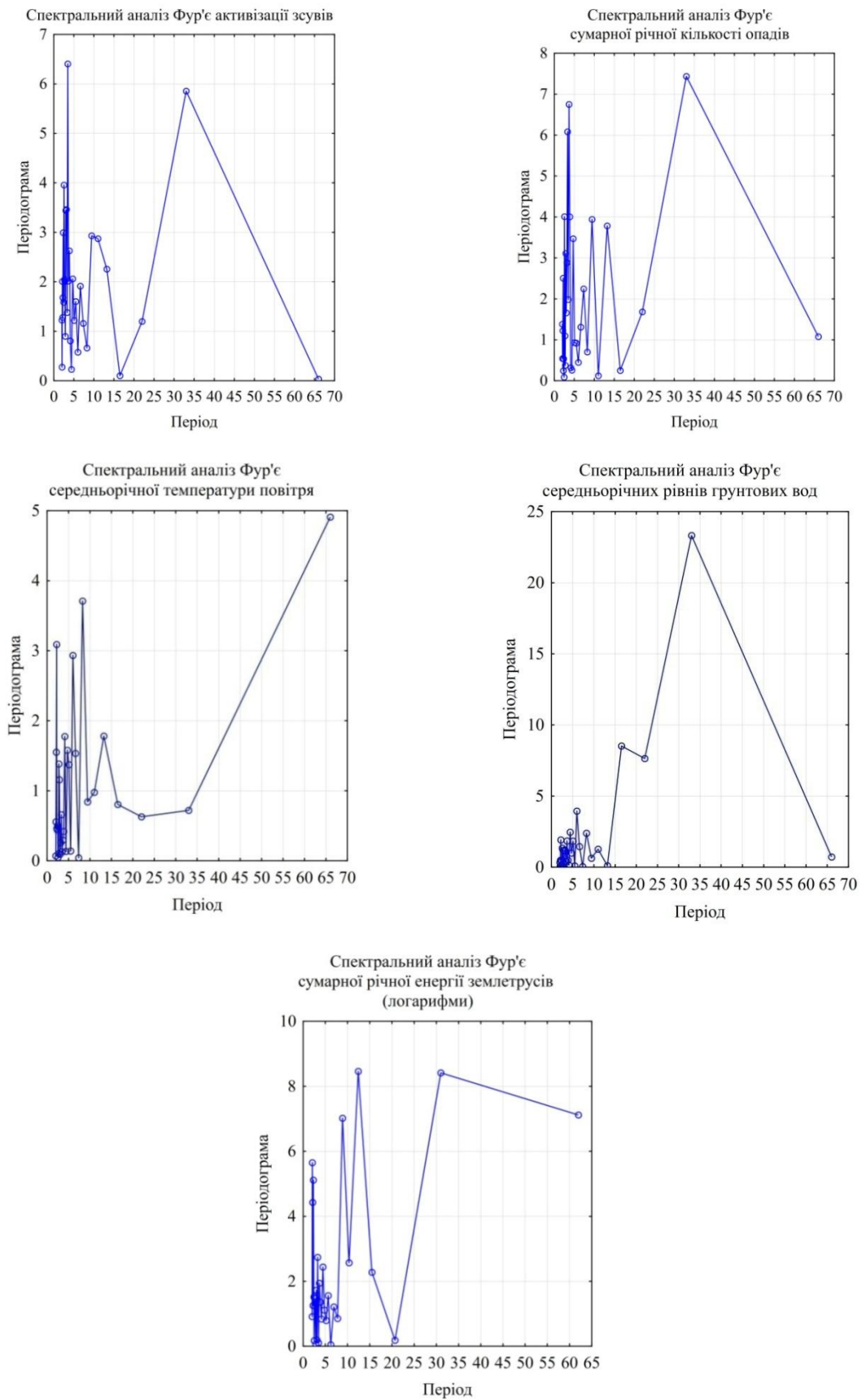


Рис.5.8. Графіки періодограм чинників активізації зсувів для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

Аналізуючи основні періодики досліджуваних чинників (табл.5.3), бачимо, що характерною особливістю для більшості чинників є спільні періоди 10 і 30 років. Періодичність 30 років властива для сумарної річної кількості опадів, середньорічних рівнів ґрунтових вод та сумарної енергії землетрусів. Крім того, кожний чинник володіє ритмом, кратним періоду сонячної активності: 9-12, 20-25 років, що свідчить про вплив Сонця на земні процеси.

Таблиця 5.3.

## Основні періодики чинників

Чинник	Періодичність
Числа Вольфа	9-12, 20-23, 31-34
Сумарна річна кількість опадів	3-4, 7, 10, 15, 23, 25-30
Середньорічна температура	5-7, 11,13,19, 20
Середньорічні рівні ґрунтових вод	5-7, 22, 25, 30
Сумарна енергія землетрусів	2, 4, 7, 9, 16, 23, 25-27, 30
Активізація зсувів	10, 13, 15, 21, 25, 28

Спектральний аналіз підтвердив виявлену періодичність АКФ по таких ритмах: опади – близько 3, 7, 10 років; температура – близько 5-7, 11, 13 років; рівні ґрунтових вод – 5, 22 років; сумарної енергії землетрусів – близько 2, 7, 30 років, активізації зсувів 10 років.

На рисунку 5.9 представлені результати попарно проаналізованих часових рядів, що дозволяють виділити базові періодики процесів розвитку та активізації зсувних процесів відносно чинників, що їх ініціюють.

Кроскорелограми свідчать, що для більшості чинників існує синхронний зв'язок (сонячна активність, сумарна річна кількість опадів, рівень ґрунтових вод). Проте, для двох чинників характерне зміщення часового ряду відносно активізації зсувів. Це ряд середньорічної температури повітря (випереджає на 2 роки) та ряд сумарної енергії землетрусів регіону (випереджає на 5 років).

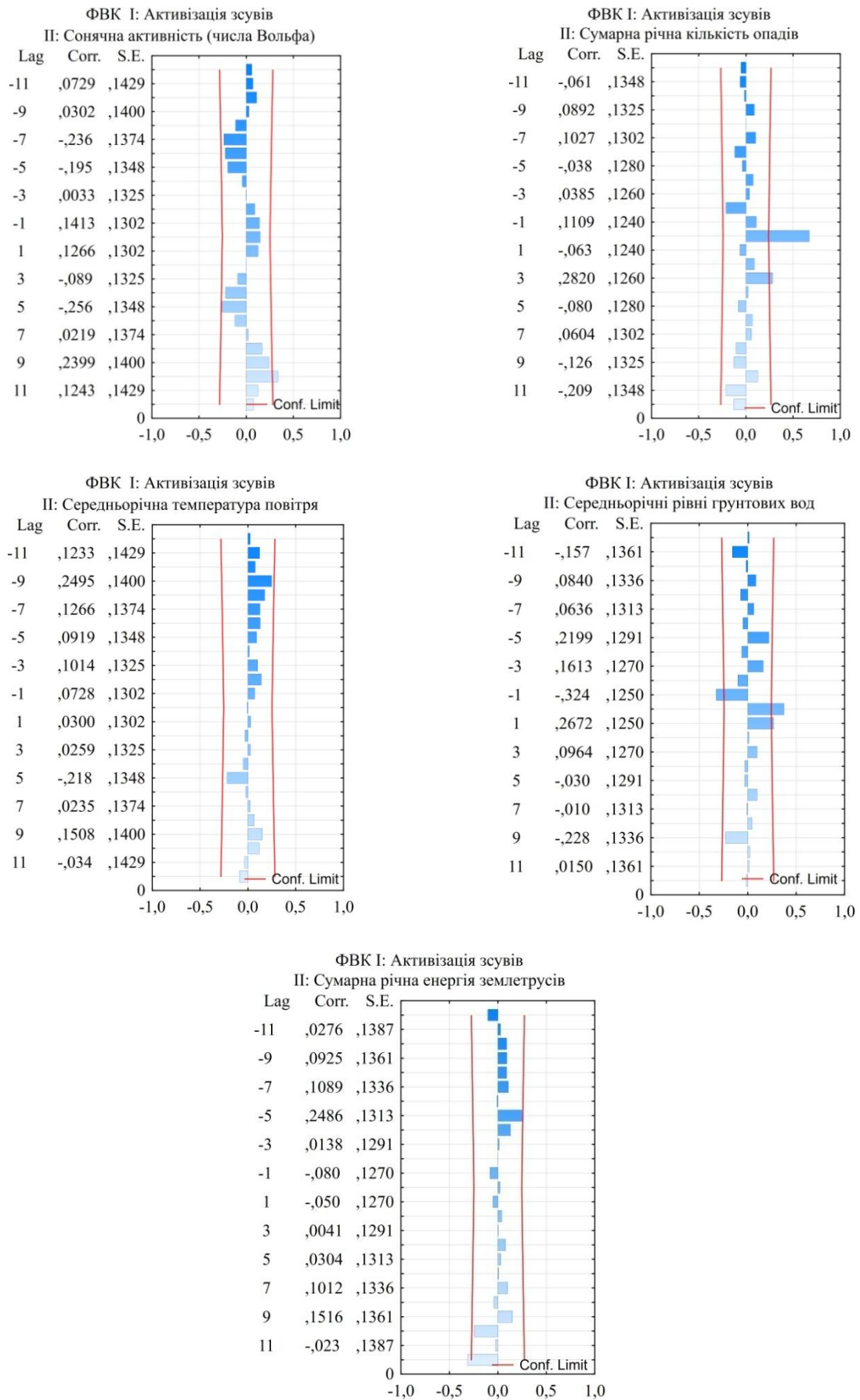


Рис. 5.9. Кроскореляційні функції між зсувною активністю та чинниками впливу для Складчастих Карпат (ЖЗ, Ж4)

Подібність у рядах сумарної енергії землетрусів підтверджує факт приналежності Закарпатського внутрішнього прогину та Складчастих Карпат до однієї сейсмічно активної зони. З урахуванням зміщення зазначених часових рядів виконаний кореляційний аналіз між чинниками (табл. 5.4).

Таблиця 5.4.

Кореляційна матриця зміщених чинників відносно активізації зсувів

Чинник	1	2	3	4	5	6
Числа Вольфа (1)	1	0,10	0,13	0,17	0,06	0,14
Сумарна річна кількість опадів (2)	0,10	1	0,15	<b>0,55</b>	<b>0,28</b>	<b>0,56</b>
Середньорічна температура (3)	0,13	0,15	1	0,18	0,02	0,13
Середньорічні рівні ґрунтових вод (4)	0,17	<b>0,55</b>	0,18	1	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>
Сумарна енергія землетрусів (5)	0,06	<b>0,28</b>	0,02	<b>0,26</b>	1	<b>0,25</b>
Активізація зсувів (6)	0,14	<b>0,56</b>	0,13	<b>0,29</b>	<b>0,25</b>	1

Кореляційний аналіз підтверджує, що активізація зсувних процесів відбувається в роки з максимальною сумарною річною кількістю опадів, а отже, з піднятим рівнем ґрунтових вод. Крім того, на утворення зсувів впливає сейсмічна активність, яка викликає вертикальні та горизонтальні зміщення земної кори.

Щоб оцінити внесок кожного чинника в інтегральний показник за формулою (5.2) розраховувались коефіцієнти інформативності: числа Вольфа 9,72%; сумарна річна кількість опадів 41,67%; середньорічна температура 9,03%; середньорічні рівні ґрунтових вод 22,22%; сумарна енергія землетрусів 17,36%. Загалом, усі коефіцієнти інформативності показують вагомий внесок у комплексний інтегральний показник зсувонебезпеки.

Автокореляційна функція та спектральний аналіз інтегрального показника наведено на рис. 5.10. Виділяються основні періодичності в 21, 32 років, які є спільними для обох графіків.

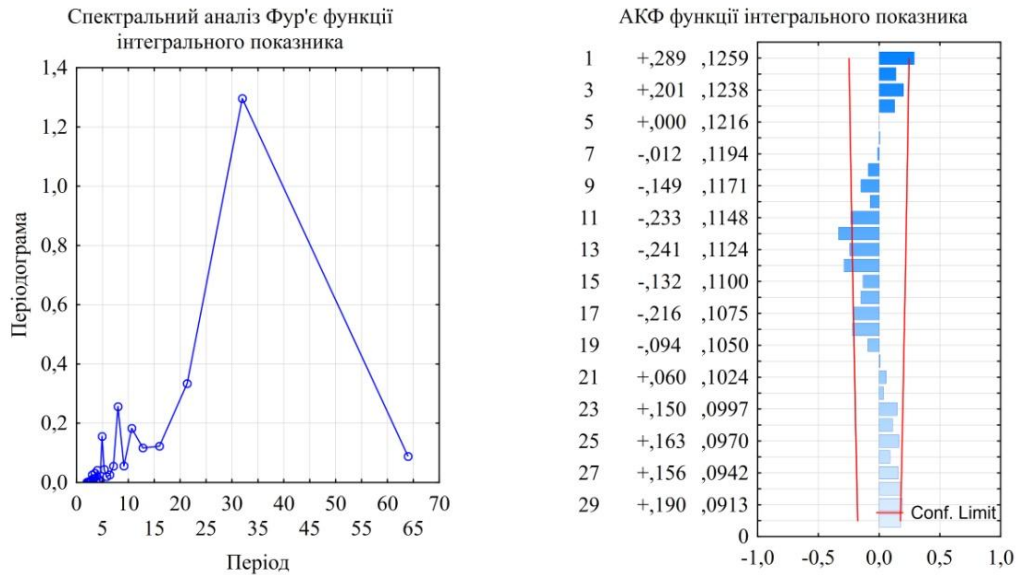


Рис. 5.10. Спектральний аналіз та автокореляційна функція інтегрального показника для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

Прогнозування нейромережею (модель багатошаровий перцептрон з двома прихованими нейронами) та функцією predict наведено на рис. 5.11. Коефіцієнт кореляції для прогнозних періодів становить 0,85.



Рис. 5.11. Графіки прогнозу ймовірності зсувів для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

Прогноз нейромережею виділив підвищену можливу ймовірність виникнення зсувів 0,7 і вище для періоду 2020-2032 років. Прогноз функцією predict показує зміщення максимальної ймовірності на 1-2 роки вперед та зменшення тривалості періоду з 2021 р. по 2029 р. Отже, в середньому, наступна масова активізація зсувних процесів буде спостерігатися в 2020-2024 та 2028-2032 роках.

*Передкарпатський прогин (Ж1)*, у межах якого знаходиться частина Чернівецької області, в геоструктурному відношенні відповідає Карпатській гірськоскладчастій системі. Важливою особливістю регіону є реакція геологічного середовища на раптову аномальну кількість атмосферних опадів після безводного періоду, коли за один місяць випадає майже половина річної норми опадів. Такі випадки реєструвалися у 1991 році, коли за липень випало 321 мм; у 2005 році – за серпень випало 307 мм, що становить майже половину річної норми опадів 659 мм. Тоді, з-поміж інших катастрофічних наслідків, відбулися зсуви.

Для виявлення часової періодичності в рядах даних виконувались автокореляція (АКФ) (рис. 5.12) та спектральний аналіз (рис. 5.13). Виявлена періодичність відображена у табл. 5.5.

Аналізуючи основні періоди досліджуваних чинників (табл.5.5), бачимо, що період 9-11 та 29-30 років характерний для усіх чинників і є кратним періоду сонячної активності. Активізація зсувів разом з параметрами: сумарна річна кількість опадів, середньорічна температура, середньорічні рівні ґрунтових вод володіють періодичністю 17-19 років, що може бути пов'язана з циклом Місяця тривалістю 18,6 років. Усі параметри, крім сонячної активності, мають періодичність 4-5 років, що добре узгоджується з активізацією зсувів і свідчить про вагомий вплив їх на процеси зсувоутворення.



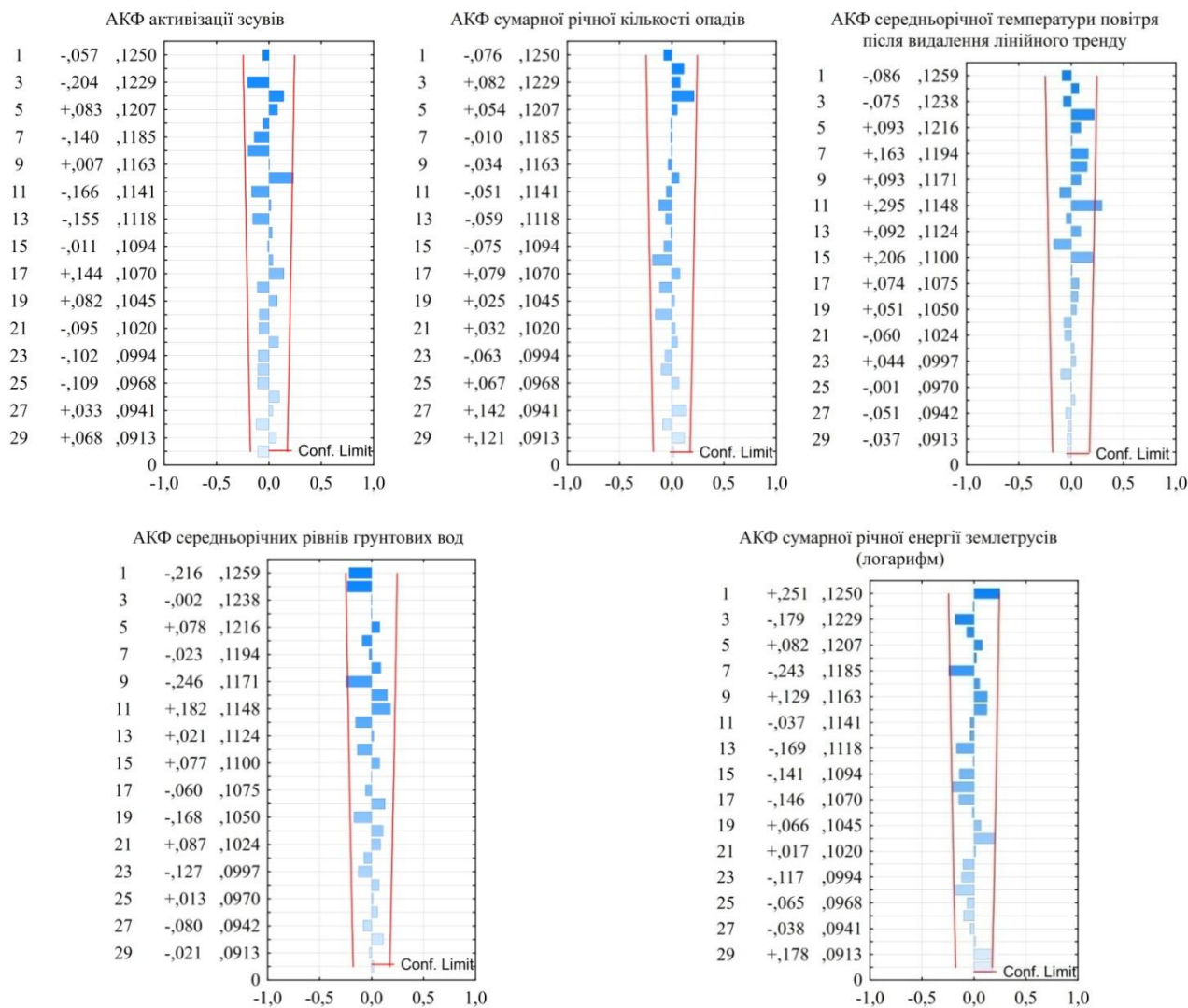


Рис.5.12. Графіки автокореляційних функцій часових рядів чинників активізації зсувів для Передкарпатського прогину (Ж1)



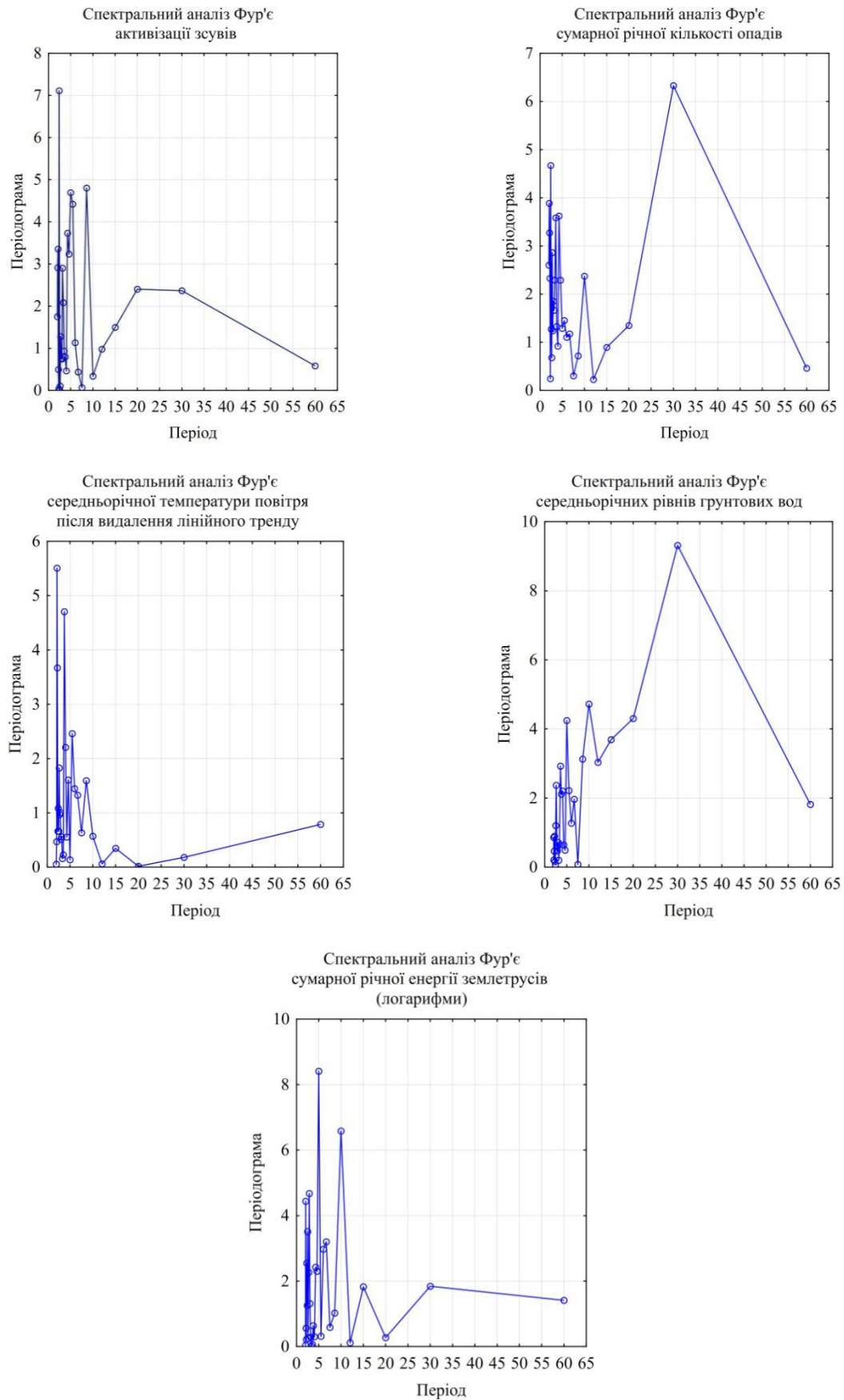


Рис.5.13. Графіки періодограм чинників активізації зсувів для Передкарпатського прогину (Ж1)

## Основні періодики чинників

Чинник	Періодичність
Числа Вольфа	9-12, 20-23, 31-34
Сумарна річна кількість опадів	2-4, 10, 17, 21-22, 25, 27, 29
Середньорічна температура	4-5, 7-9, 11,13,15, 17-19, 30
Середньорічні рівні ґрунтових вод	5, 8, 10, 11, 15, 18, 20-21, 24, 26, 30
Сумарна енергія землетрусів	5, 9-10, 19-20, 29-30
Активізація зсувів	4-5, 10, 19, 22, 26-27, 29

Загалом, спектральний аналіз підтвердив виявлену періодичність автокореляційних функцій по таких циклах: опади – близько 2-4, 10, 30 років; температура – близько 2-4, 10, 30 років; рівні ґрунтових вод – 5-8, 10, 20 років; сумарної енергії землетрусів – близько 5, 10, 30 років, активізації зсувів 4-5, 9-10, 30 років. Спільними для всіх чинників є період 10 років, а для 4 – х чинників із п'яти – 30 років.

На рисунку 5.14 представлені результати функції взаємної кореляції, які свідчать, що для більшості чинників існує синхронний зв'язок (сонячна активність, сумарна річна кількість опадів, рівень ґрунтових вод), проте ряд середньорічна температура повітря корелює обернено з активізацією зсувів. Сумарна енергія землетрусів випереджає активізацію зсувів на 3 роки.

З урахуванням зміщення часового ряду сумарної енергії землетрусів розрахована кореляційна матриця (табл. 5.6).

Кореляційний аналіз підтверджує, що існує тісний зв'язок активізації зсувів із роками аномальної кількості опадів. Більшість чинників володіють прямим зв'язком, окрім пар активізація зсувів – середньорічна температура та числа Вольфа – сумарна енергія землетрусів. Зсувна активність Передкарпаття прямо корелює з сонячною активністю (0,16), з сумарною річною кількістю опадів (0,50), рівнем ґрунтових вод (0,21), із сейсмічністю (0,16) та обернено – з температурою повітря (-0,28).

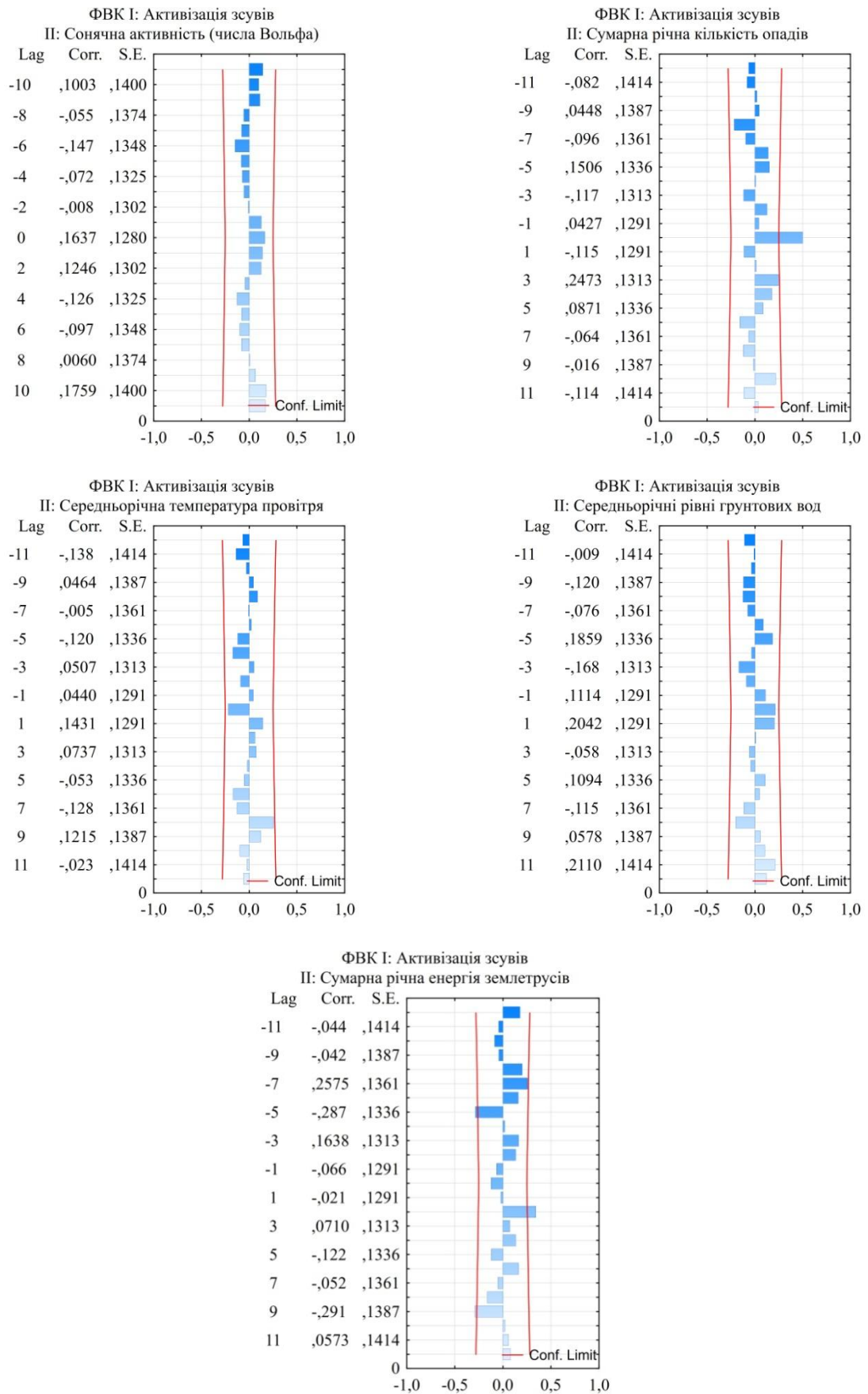


Рис. 5.14. Кроскореляційні функції між зсувною активністю та чинниками впливу для Передкарпатського прогину (Ж1)

Таблиця 5.6.

Чинник	1	2	3	4	5	6
Активізація зсувів (1)	1	0,16	<b>0,37</b>	<b>-0,28</b>	0,21	0,16
Числа Вольфа (2)	0,16	1	0,04	0,03	0,23	-0,19
Сумарна річна кількість опадів (3)	<b>0,37</b>	0,04	1	<b>-0,42</b>	<b>0,38</b>	0,01
Середньорічна температура (4)	<b>-0,28</b>	0,03	<b>-0,42</b>	1	0,05	0,06
Середньорічні рівні ґрунтових вод (5)	0,21	0,23	<b>0,38</b>	0,05	1	0,09
Сумарна енергія землетрусів (6)	0,16	-0,19	0,01	0,06	0,09	1

Щоб оцінити внесок кожного чинника в інтегральний показник за формулою (5.2) розраховувались коефіцієнти інформативності: числа Вольфа 12,7%; сумарна річна кількість опадів 35,7%; середньорічна температура 22,2%; середньорічні рівні ґрунтових вод 16,7%; сумарна енергія землетрусів 12,7%. Загалом усі коефіцієнти інформативності показують вагомий внесок у комплексний інтегральний показник зсувонебезпеки.

Для визначення основної періодики інтегрального показника зсувонебезпеки виконувався спектральний аналіз та будувався автокореляційний графік (рис. 5.15). Виділяються основні періодичності в 4, 9-10, 26, 30 років, які є спільними для обох графіків.

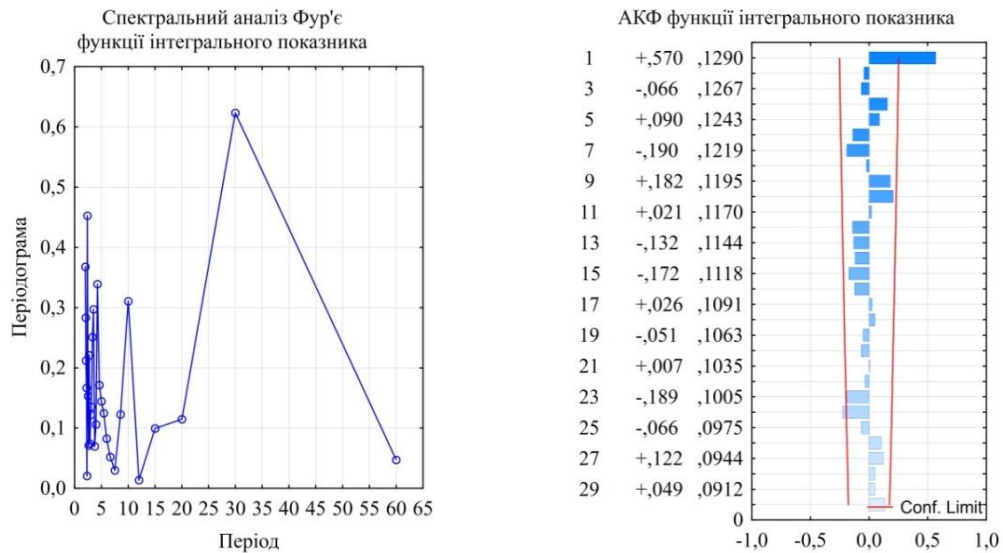


Рис. 5.15. Спектральний аналіз та автокореляційна функція інтегрального показника для Передкарпатського прогину (Ж1)

На рисунку 5.16 представлені часові графіки ймовірності зсувів та його прогнозу. Ступінь достовірності прогнозних періодів становить 0,89.

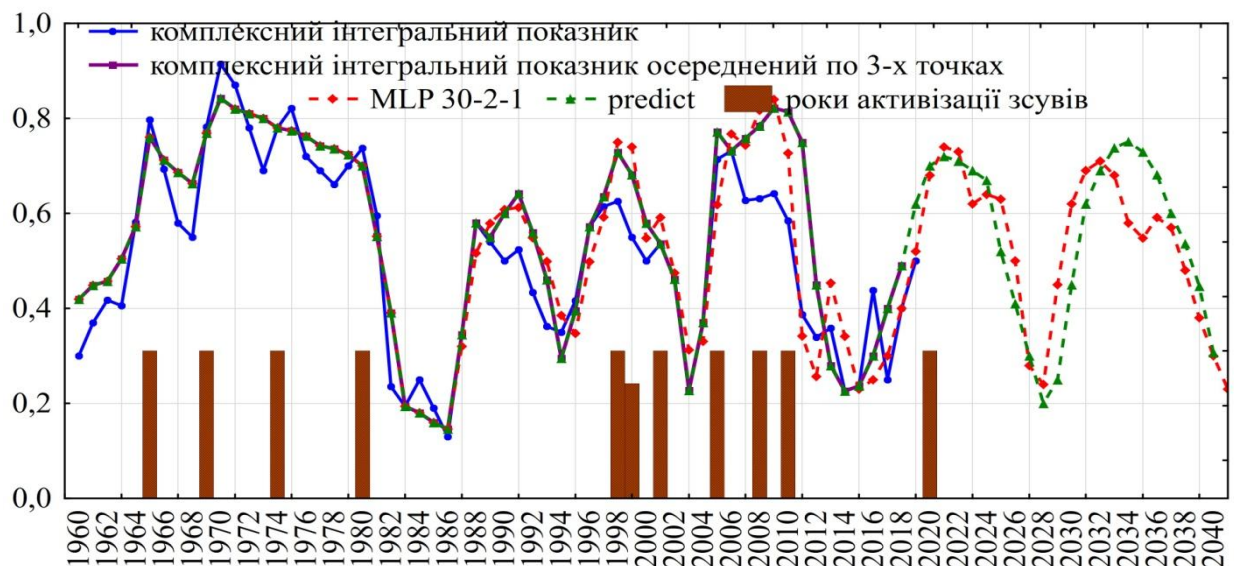


Рис. 5.16. Графік прогнозу ймовірності зсувів для Передкарпатського прогину (Ж1)

Прогноз неймережею (модель багатошаровий перцептрон із двома прихованими нейронами) виділив підвищену можливу ймовірність

виникнення зсувів 0.6 і вище для періоду 2020-2025 років та наступну 2030-2036 років. Функція predict загалом повторює періоди попереднього прогнозу зі зміщенням максимальної ймовірності на 1-2 роки вперед. Отже, можлива активізація зсувних процесів прогнозується у 2020-2025 та 2030-2034 роках.

## **5.2. Середньострокове прогнозування зсувів у межах року для окремих інженерно-геологічних регіонів**

Завданням даного підрозділу є представлення середньострокового прогнозування зсувних процесів за місяцями впродовж року з використанням взаємозалежних чинників: сонячна активність (числа Вольфа), максимальні значення метеопараметрів (атмосферні опади, температура повітря) у межах року, рівні ґрунтових вод та сейсмічність території.

З метою помісячно-річної демонстрації розподілу атмосферних опадів та температури повітря на розгорнутій площині запропоновано зображення даних у вигляді карт графіків атмосферних опадів для окремих інженерно-геологічних регіонів. Будувались карти графіків максимальних опадів пронормованих відносно максимального значення. На цих картах показані опади, більші та менші за середнє значення. Візуальний аналіз показує наявність щорічних аномалій підвищення інтенсивності атмосферних опадів, які можна виділити як сезонні: весняні, літні та осінні. У теплий період року (квітень-серпень, інколи ще додавався вересень) чітко простежується квазісинусоїдальне зміщення літніх періодів дощів – на рисунках ця залежність винесена товстою лінією. Подібні, але не повністю ідентичні літній, залежності спостерігаються для осінньо-зимового та зимово-весняного періодів (на рисунках відображені пунктиром).

Дрейф максимумів інтенсивностей сезонних аномалій атмосферних опадів, пов'язаний із другорядними причинами, коливається для більшості точок 3 місяця. Найбільш чітко проявлялись сезонні підвищення опадів

квітень-серпень, серпень-листопад, листопад-березень. Причому, навіть невеликі за значеннями сезонні аномалії розділяються відносно сухими періодами спаду інтенсивності атмосферних опадів. За основу для аналізу обрано найбільш чітку криву для літнього періоду. З квітня-травня кількість та інтенсивність опадів зростає через інтенсивне нагрівання повітря, збільшення випаровування води, переважання висхідних рухів теплого і вологого повітря. Спостерігаємо кореляцію кривої літніх опадів із сонячною активністю з запізненням на 2-3 роки (коефіцієнт кореляції 0,13-0,38), що можна пояснити випереджаючим впливом сонячних циклів на циркуляційні процеси атмосфери Землі.

Графіки максимальних температур, як відомо, чітко сезонні (липень - серпень), амплітуда періодичних коливань практично незмінна і не залежить від рівня тренду, що підтверджує сезонність даного параметра.

Динаміку екстремальних значень метеопараметрів неможливо прогнозувати з високою передбачуваністю через дискретний характер даних, тому для того, щоб відобразити особливості розподілу протягом певного періоду часу, використовувався ймовірнісний підхід.

Розглянемо результати прогнозування для окремих інженерно-геологічних регіонів.

*Закарпатський внутрішній прогин (3).* Візуальний аналіз розподілу атмосферних опадів (рис. 5.17) протягом року показує, що максимальні опади групуються у довготривалі періоди: 1974-1982 рр. та 1997 – 2010 рр. У виділених періодах, опади, вищі за норму реєструвались декілька разів на рік, найбільш виражені такі випадки зафіксовані у 1974 р. – червень, жовтень;



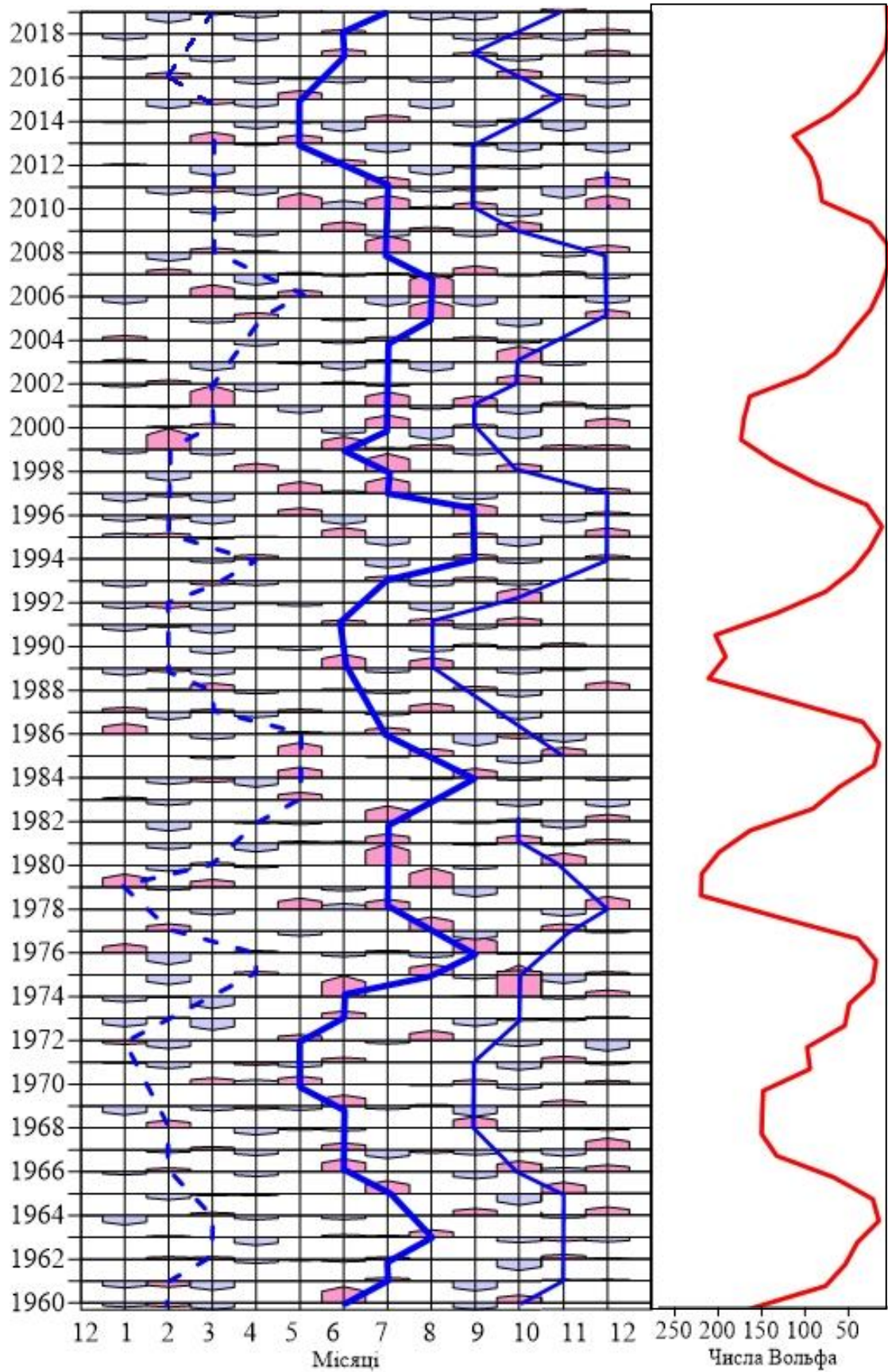


Рис. 5.17. Карта графіків максимальних значень атмосферних опадів



1980 р. – липень, листопад; 1998 квітень, липень; 1999 – лютий, червень; 2001 р. – березень, липень; 2010 р. – травень, липень, грудень. Саме ці роки відзначилися активізацією зсувів. На рис. 5.18. відображена часова динаміка у рядах атмосферних опадів та температури повітря. Періодичність для Закарпатського внутрішнього прогину (3) максимальних опадів становить 11-13, 15, 26-27 та 29-30 років; для максимальної температури відповідно – 2-5, 10-11, 13-14, 18-19 років.

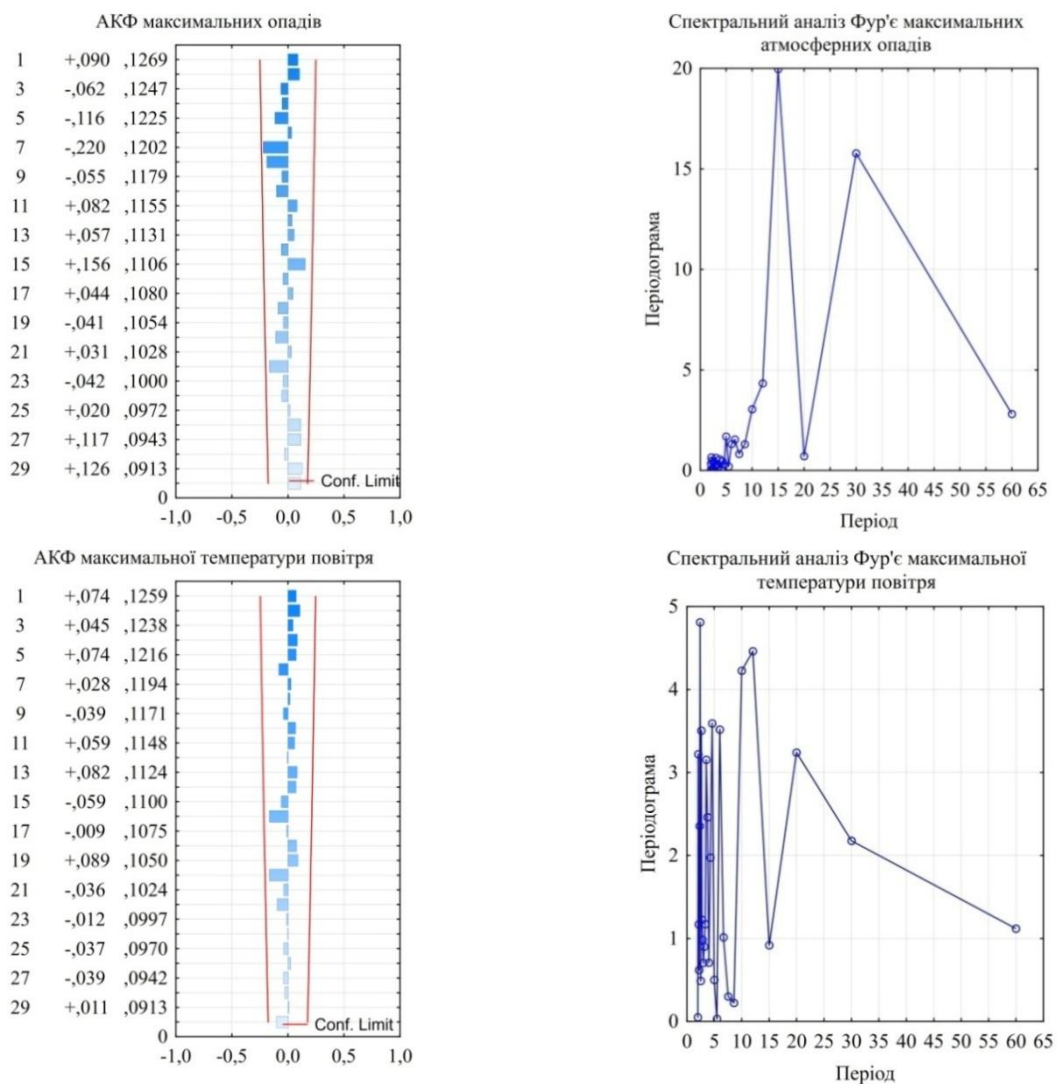


Рис. 5.18. Спектральний аналіз та автокореляційна функція максимальних значень метеопараметрів для Закарпатського внутрішнього прогину (3)

Для оцінки ступеня парної кореляції між активізацією зсувів та максимальними значеннями метеопараметрів розраховувалась функція взаємної кореляції (рис. 5.19). Як видно з рисунка, активізація зсувів без зміщення корелює з максимальними опадами та температурою повітря. Взаємна кореляція між активізацією зсувів та сонячною активністю, рівнем ґрунтових вод, сейсмічною активністю наведена на рис. 5.4.

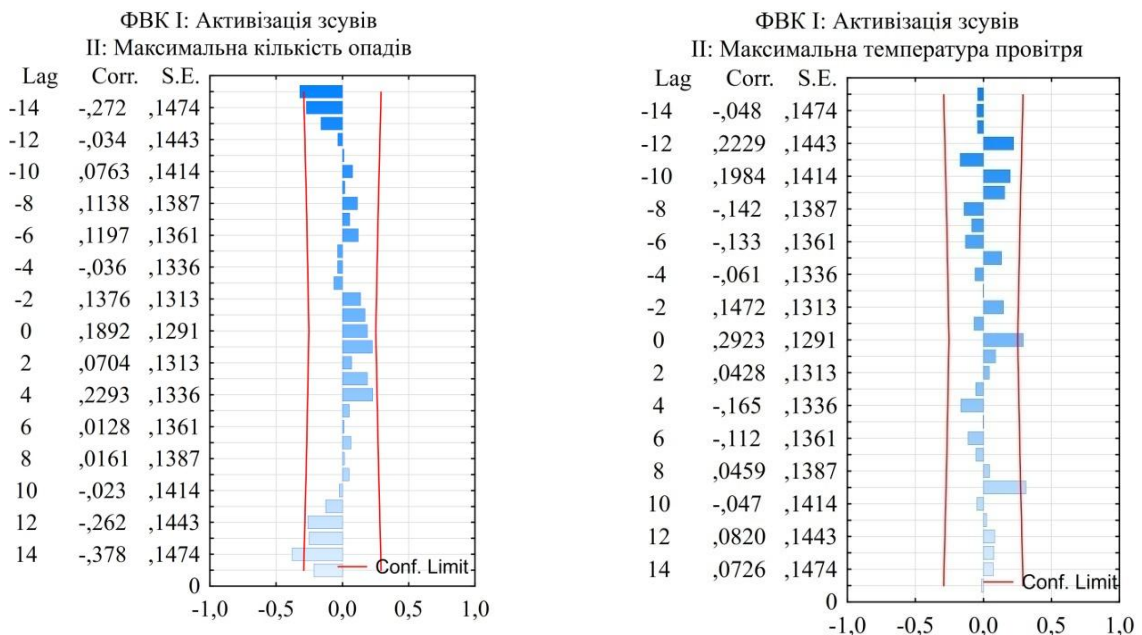


Рис. 5.19. Функції взаємної кореляції між активізацією зсувів та максимальними значеннями метеопараметрів для Закарпатського внутрішнього прогину (З)

Аналіз кореляційної матриці показує пряму кореляцію активізації зсувів з усіма досліджуваними чинниками (табл. 5.7). Не вдалося виявити впливу максимальної температури повітря на максимальну кількість опадів – коефіцієнт кореляції (-0,05). Також не виявлено зв'язок між сумарною енергією землетрусів і числами Вольфа, максимальними опадами, температурою.

Коефіцієнти інформативності кожного чинника в інтегральний показник показують рівномірний внесок: числа Вольфа 14,53%; максимальна

Таблиця 5.7.

Кореляційна матриця зміщених чинників відносно активізації зсувів

Чинник	1	2	3	4	5	6
Активізація зсувів (1)	1	0,22	0,19	<b>0,29</b>	<b>0,49</b>	<b>0,31</b>
Числа Вольфа (2)	0,22	1	0,14	0,10	0,19	0,02
Максимальні опади (3)	0,19	0,14	1	-0,05	<b>0,51</b>	-0,08
Максимальна температура (4)	<b>0,29</b>	0,10	-0,05	1	0,12	0,01
Середньорічні рівні ґрунтових вод (5)	<b>0,49</b>	0,19	<b>0,51</b>	0,12	1	0,10
Сумарна енергія землетрусів (6)	<b>0,31</b>	0,02	-0,08	0,01	0,10	1

кількість опадів 12,69%; максимальна температура 19,37%; середньорічні рівні ґрунтових вод 32,84%; сумарна енергія землетрусів 20,57%.

Спектральний аналіз та автокореляційний графік інтегрального показника (рис. 5.20) виділяють основні періодичності в 10, 20, 30 років; цикли 20, 30 є спільними для обох графіків.

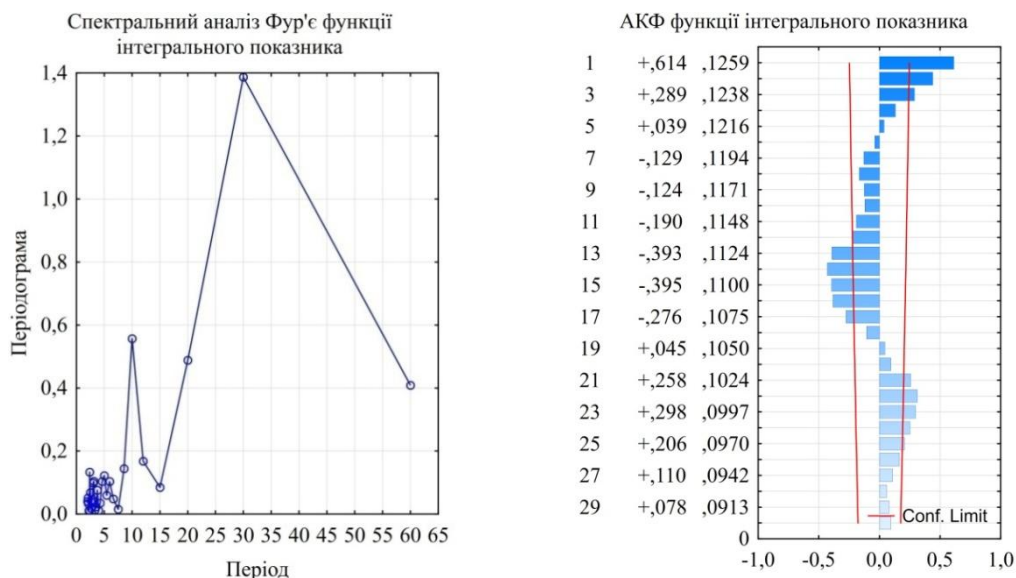


Рис. 5.20. Спектральний аналіз та автокореляційна функція інтегрального показника зсувонебезпеки протягом року для Закарпатського внутрішнього прогину (3)

На рисунку 5.21 представлені часові графіки прогнозу ймовірності зсувів. Найбільш ймовірна активізація зсувів в межах теплого періоду опадів прогнозується від липня до серпня з 2020 по 2030 роки, що підтверджується попереднім довгостроковим прогнозом для Закарпатського внутрішнього прогину (3).

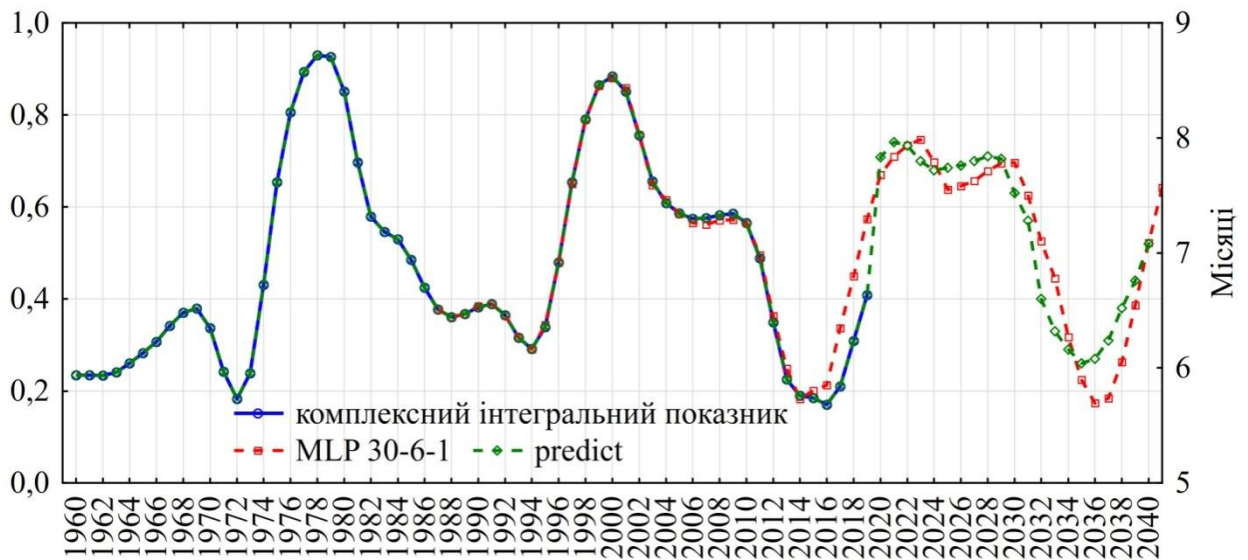


Рис. 5.21. Графік прогнозу ймовірності зсувів протягом року для Закарпатського внутрішнього прогину (3)

Отримані дані узгоджуються з прогнозом, наведеного в роботі [8], де прогнозувалася активізація зсувів у 2018 -2022 роках. Основні причини розходження – це нарощування рядів спостережень та удосконалення методики досліджень.

*Карпатська гірськоскладчаста система (Ж). Складчасті Карпати (ЖЗ, Ж4).*

Багаторічні спостереження за розподілом максимальних атмосферних опадів протягом року (рис. 5.22) показують, що для Складчастих Карпат виділяються два періоди аномально дощових років: 1967-1986 рр. та 1998 – 2010 рр. Особливо відзначаються роки, коли екстремальні опади реєструються 2–4 рази на рік: 1969 (червень, серпень, листопад), 1970 (лютий, травень, вересень), 1974 р. (червень, жовтень, грудень),



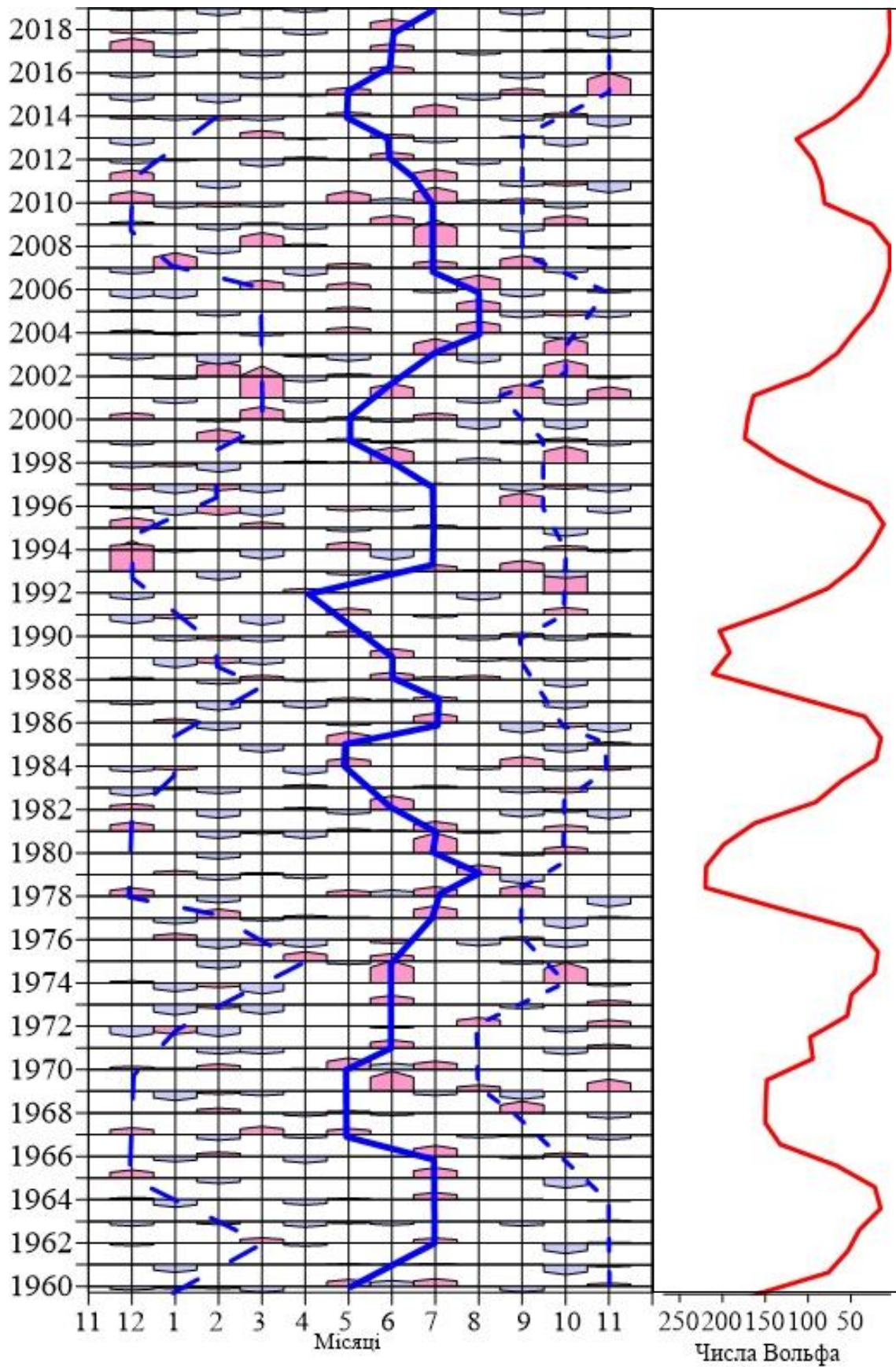


Рис. 5.22. Карта графіків максимальних значень атмосферних опадів для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

1980 р. (липень, жовтень), 1998 р. (квітень, червень, жовтень), 2001 р. (березень, червень, вересень, листопад), 2006 – 2008 рр. (березень, травень, липень), 2010 р. (січень, травень, липень). Саме в ці роки спостерігалася активізація зсувів.

На рис. 5.23 відображена періодичність максимальних значень метеопараметрів протягом досліджуваного періоду.

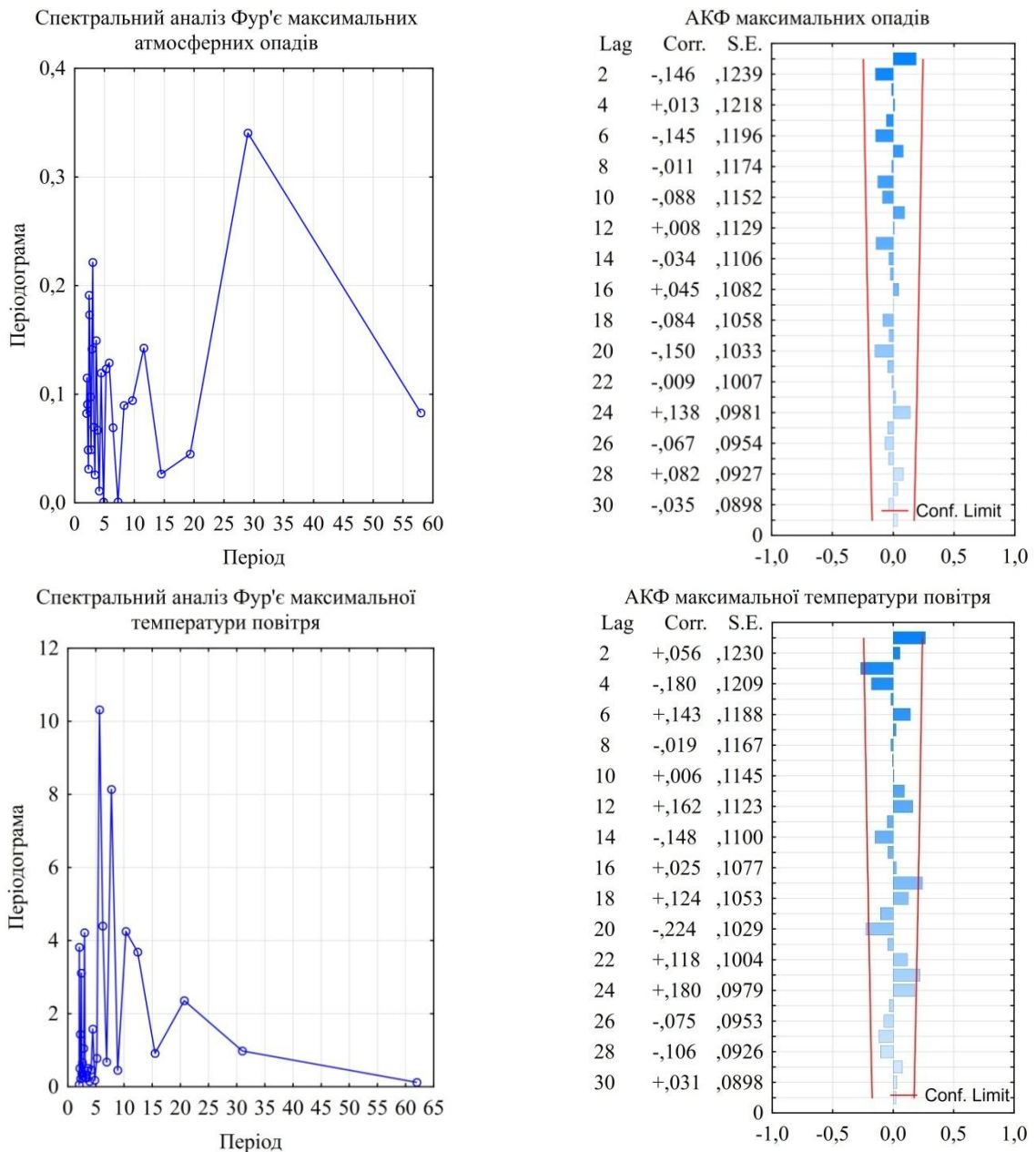


Рис. 5.23. Спектральний аналіз та автокореляційна функція максимальних значень метеопараметрів для Складчастих Карпат (ЖЗ, Ж4)

Періодичність для максимальних опадів становить 7-11, 16, 24, 28-29 років; для максимальної температури відповідно 6, 12, 17-18, 22-24, 29 років, що підтверджується двома методами. Періоди 11-12, 16-17, 24, 29 є спільними для обох параметрів. Для оцінки впливу максимальних опадів та температури повітря на активізацію зсувів розраховувались функція взаємної кореляції (рис. 5.24). Як видно, активізація зсувів без зміщення корелює з максимальними опадами та температурою повітря. Взаємна кореляція між активізацією зсувів та іншими досліджуваними чинниками впливу наведена на рис. 5.9. Результати кореляційного аналізу наведено в табл. 5.8.

Аналіз таблиці кореляції свідчить, що місяці з максимальними опадами не узгоджуються з місяцями максимальних температур (-0.16).

Коефіцієнти інформативності кожного чинника в інтегральний показник показують рівномірний внесок: числа Вольфа 13,59%; максимальна кількість опадів 17,48%; максимальна температура 13,59%; середньорічні рівні ґрунтових вод 31,07%; сумарна енергія землетрусів 24,27%.

На рис. 5.25 наведений спектральний аналіз та автокореляційний графік інтегрального показника, де виділяються основні періодичності в 10, 22, 31 років; цикли 10, 31 є спільними для обох графіків.

На рисунку 5.26 представлені часові графіки ймовірності зсувів та його прогнозу. Найбільш можлива активізація зсувів з ймовірністю 0,6 – 0,8 у межах теплого періоду опадів прогнозується від липня до серпня з 2020 по 2032 роки, що підтверджується попереднім довгостроковим прогнозом для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4).

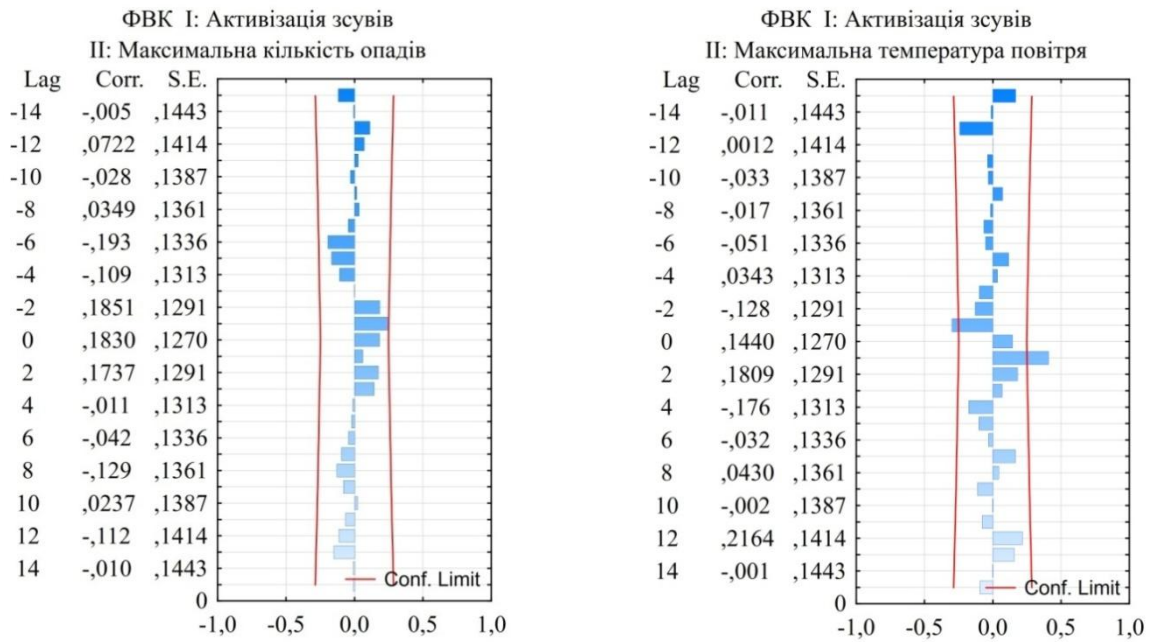


Рис. 5.24. Функції взаємної кореляції між активізацією зсувів та максимальними значеннями метеопараметрів для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

Таблиця 5.8

Кореляційна матриця зміщених чинників відносно активізації зсувів

Чинник	1	2	3	4	5	6
Активізація зсувів (1)	1	0,14	0,18	0,14	<b>0,32</b>	0,25
Числа Вольфа (2)	0,14	1	0,12	-0,21	0,17	0,06
Максимальні опади (3)	0,18	0,12	1	-0,16	0,07	0,15
Максимальна температура (4)	0,14	-0,21	-0,16	1	0,17	0,09
Середньорічні рівні ґрунтових вод (5)	<b>0,32</b>	0,17	0,07	0,17	1	<b>0,26</b>
Сумарна енергія землетрусів (6)	0,25	0,06	0,15	0,09	<b>0,26</b>	1



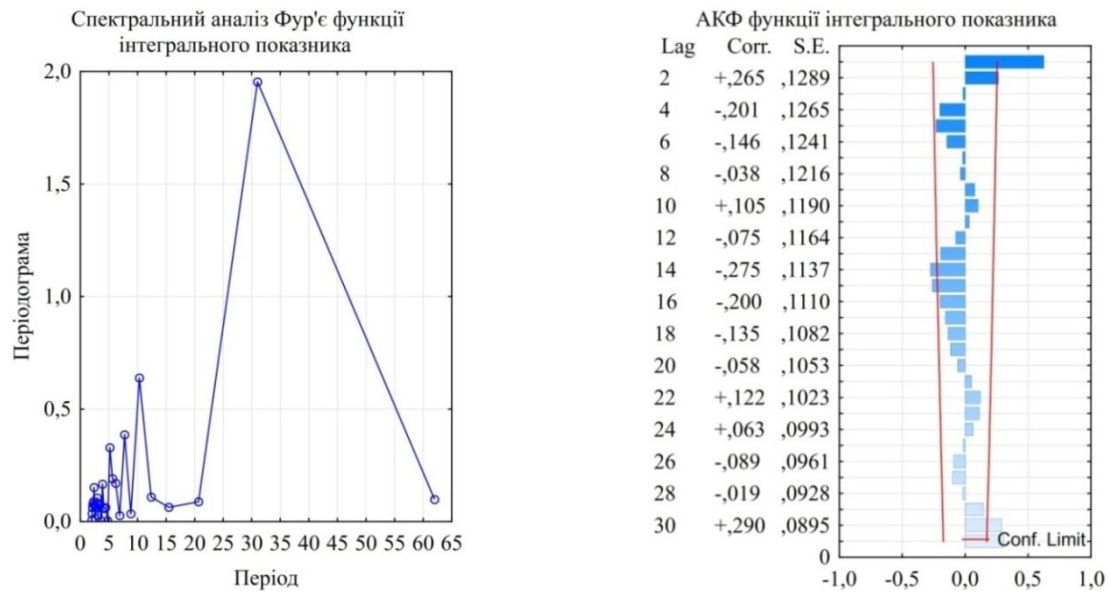


Рис. 5.25. Спектральний аналіз та автокореляційна функція інтегрального показника зсувонебезпеки протягом року для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

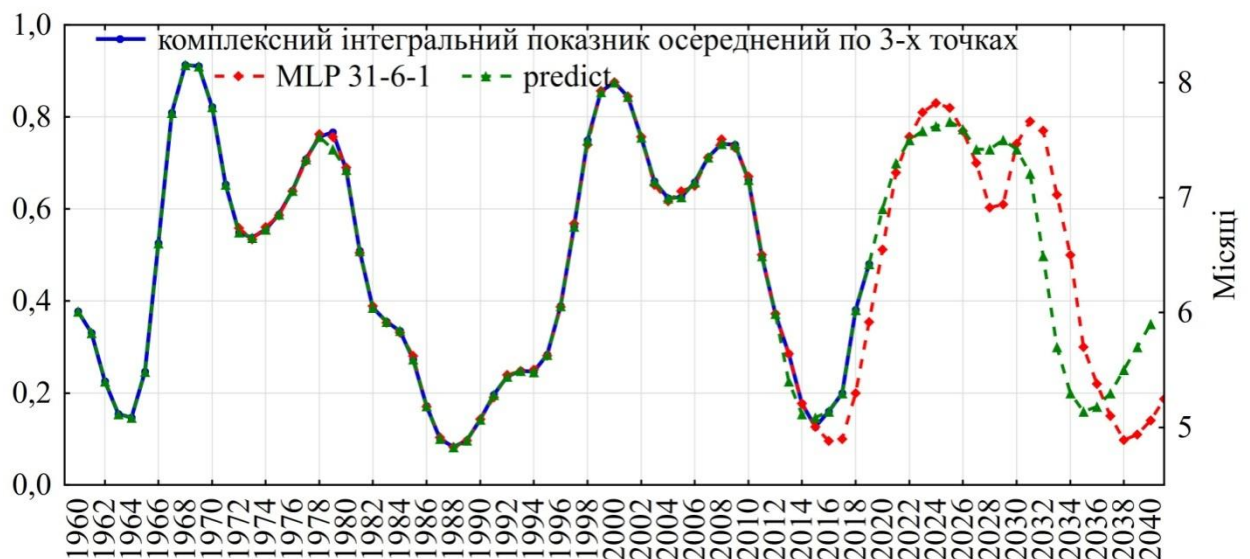


Рис. 5.26. Графік прогнозу ймовірності зсувів протягом року для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4)

#### *Передкарпатський прогин (Ж1).*

Аналіз карти розподілу максимальних атмосферних опадів протягом року (рис. 5.27) показує, що для Передкарпатського прогину періоди аномально дощових років більш короткі, але повторюються частіше.

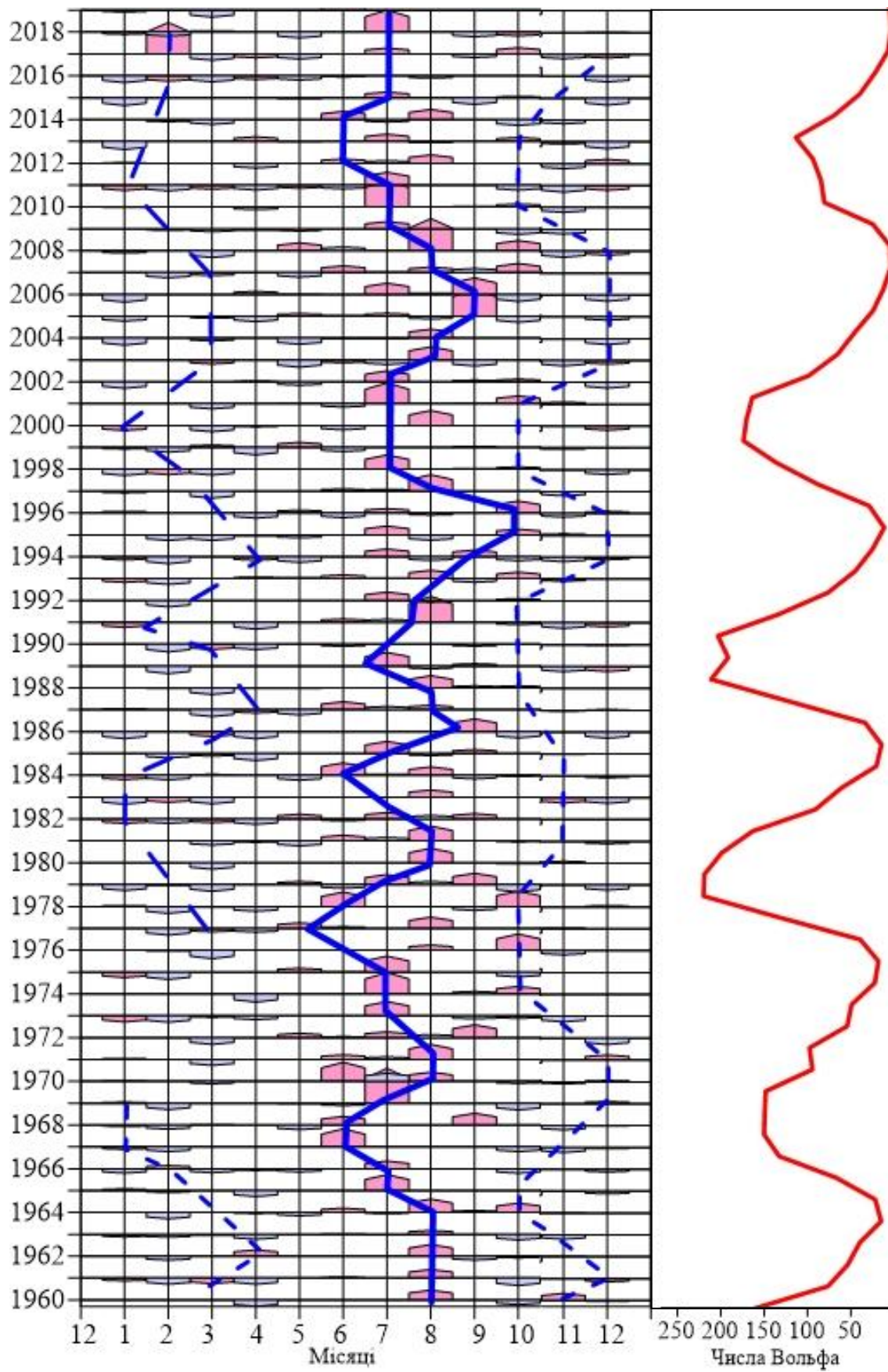


Рис. 5.27. Карта графіків максимальних значень атмосферних опадів для Передкарпатського прогину (Ж1)

Особливо відзначаються роки, коли за місяць-два випадає 50-70 % річної норми опадів (628 мм): 1965 р. за червень-липень випало 410 мм; 1969 р. за червень-липень – 453 мм; 1974 р. за червень-липень – 396 мм; 1991 р. за липень – 321 мм; 2005 за серпень – 307 мм; 2008 за травень, липень – 331 мм; 2010 за травень, червень – 357 мм. В ці роки реєструвалась масова активізація зсувів.

На рис. 5.28 відображена періодичність максимальних значень опадів: становить 7-12, 20-23, 30 років; максимальної температури: 3, 14- 15, 17-18, 23, 26, 29 років, що підтверджується двома методами. Періоди 11-12, 15, 29-30 є спільними для обох параметрів.

Функція взаємної кореляції (рис. 5.29) показує, що максимальні опади та температура випереджають активізацію зсувів на 1-2 роки. Взаємна кореляція з іншими досліджуваними чинниками впливу наведена на рис.5.14. Результати кореляційного аналізу зміщених чинників наведено в табл. 5.9.

Аналіз таблиці кореляції свідчить, що активізація зсувів прямо корелює з місяцями максимальних опадів (0,22) та максимальних температур (0,13), крім того між зазначеними метеопараметрами теж існує прямий зв'язок (0,16).

Коефіцієнти інформативності кожного чинника в інтегральному показнику показують рівномірний внесок: числа Вольфа 17,24%; максимальна кількість опадів 25,29%; максимальна температура 14,94%; середньорічні рівні ґрунтових вод 24,14%; сумарна енергія землетрусів 18,19%.

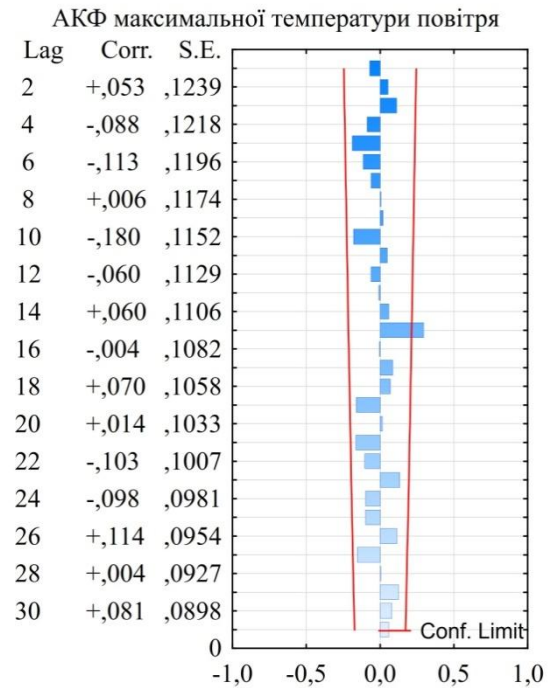
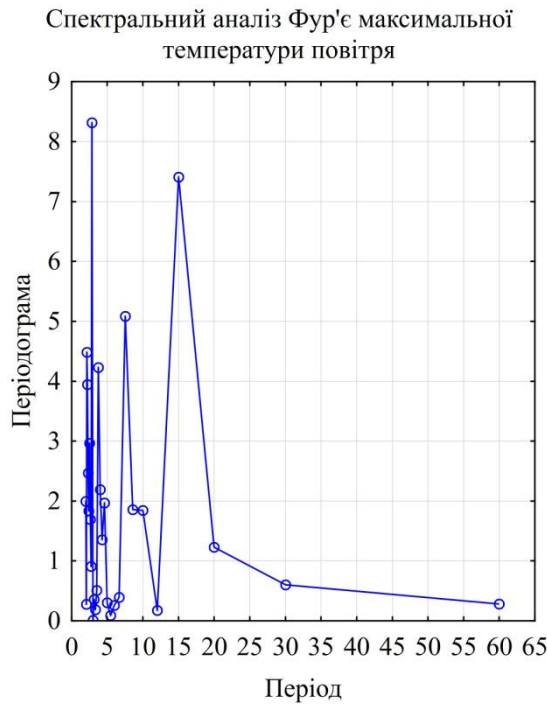
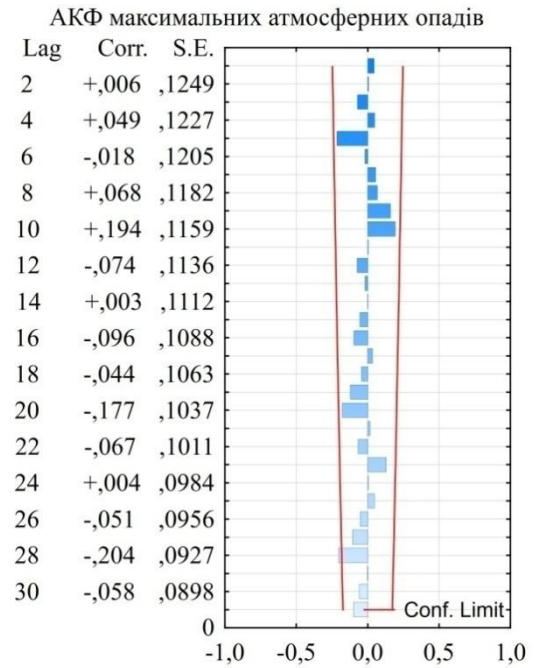
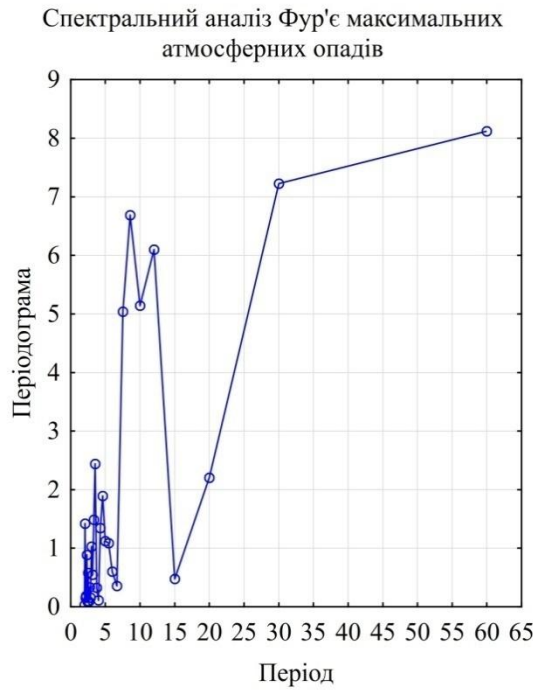


Рис. 5.28. Спектральний аналіз та автокореляційна функція максимальних значень метеопараметрів для Передкарпатського прогину (Ж1)



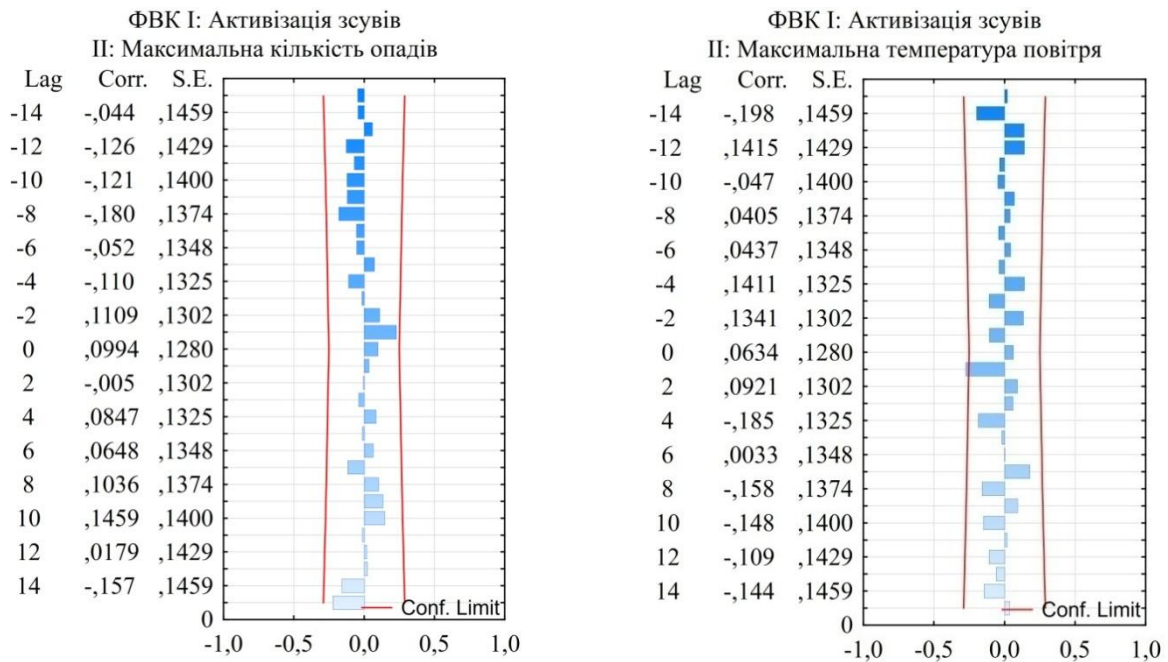


Рис. 5.29. Функції взаємної кореляції між активізацією зсувів та максимальними значеннями метеопараметрів для Передкарпатського прогину (Ж1)

Спектральний аналіз та автокореляційний графік інтегрального показника (рис. 5.30) виділяють основні періодичності в 9-11, 15, 20-21, 23, 25, 30 років; цикли 10-11, 20-21, 30 є спільними для обох графіків.

Таблиця 5.9.

Кореляційна матриця зміщених чинників відносно активізації зсувів

Чинник	1	2	3	4	5	6
Активізація зсувів (1)	1	0,15	<b>0,22</b>	0,13	0,21	0,16
Числа Вольфа (2)	0,15	1	0,14	0,24	0,23	-0,19
Максимальні опади (3)	<b>0,22</b>	0,14	1	0,16	<b>0,47</b>	-0,15
Максимальна температура (4)	0,13	0,24	0,16	1	-0,10	0,03
Середньорічні рівні ґрунтових вод (5)	0,21	0,23	0,47	-0,10	1	0,09
Сумарна енергія землетрусів (6)	0,16	-0,19	-0,15	0,03	0,09	1

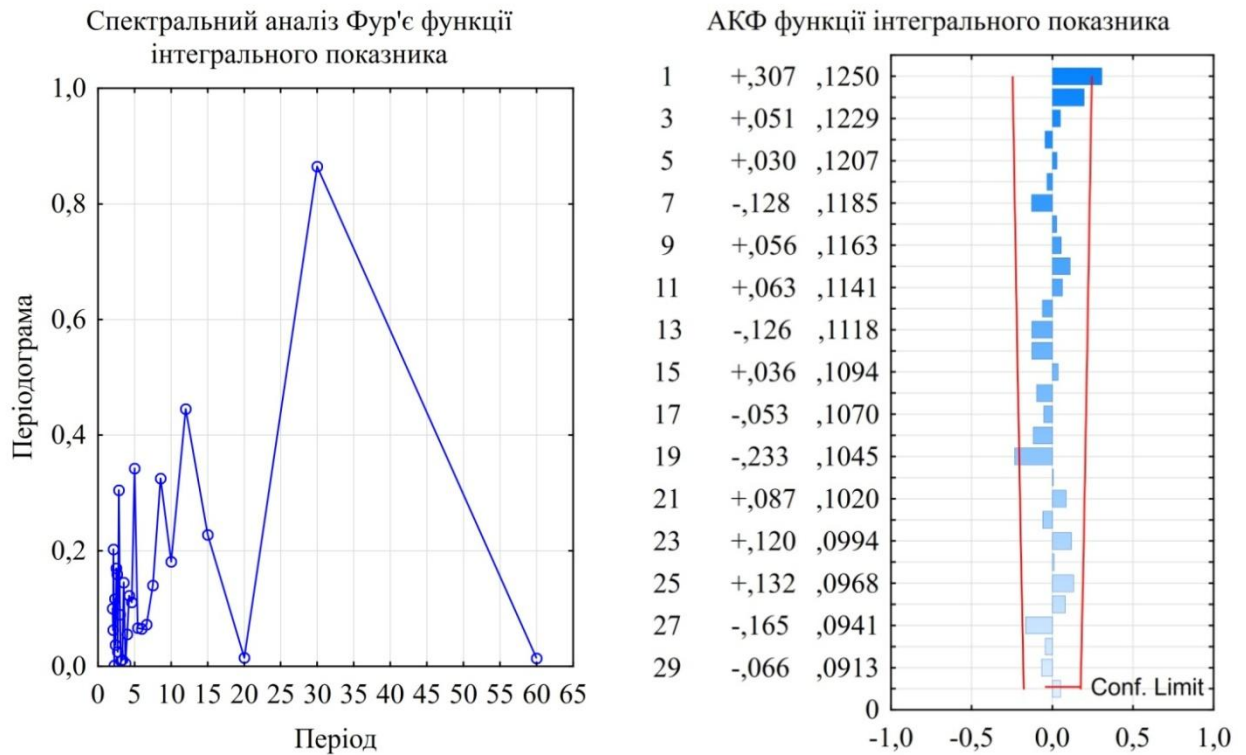


Рис. 5.30. Спектральний аналіз та автокореляційна функція інтегрального показника зсувонебезпеки протягом року для Передкарпатського прогину (Ж1)

На рисунку 5.31 представлені часові графіки ймовірності зсувів та його прогнозу. У теплий період року (квітень-серпень) найбільш можлива активізація зсувів із імовірністю 0,6 – 0,8 від другої половини червня до другої половини липня з 2020 по 2034 роки, що підтверджується попереднім довгостроковим прогнозом для Передкарпатського прогину (Ж1).

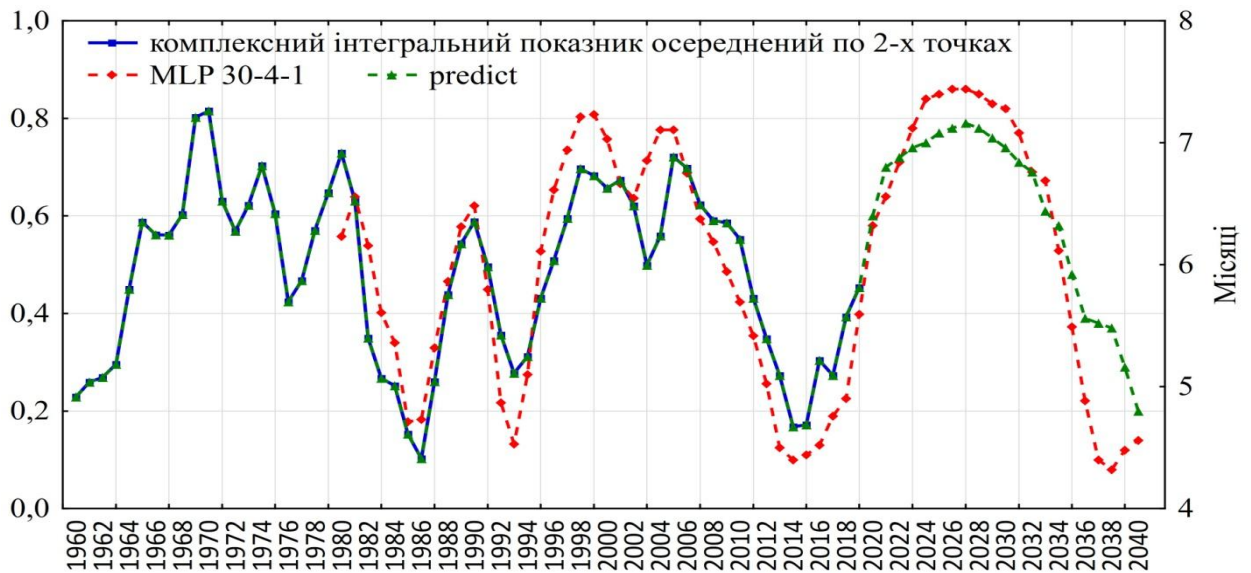


Рис. 5.31. Графік прогнозу ймовірності зсувів протягом року для Передкарпатського прогину (Ж1)

Отже, виконавши середньострокове прогнозування зсувів у межах року, було отримано такі результати: спектральний аналіз та функція АВК інтегрального показника мають спільні періоди 9-11, 20-23, 29-30 років, що вказують на вплив сонячної активності на циркуляційні процеси в атмосфері. Враховуючи періоди кривої інтегрального показника з ймовірністю більше 0,65, слід очікувати активізацію зсувів для Закарпатського внутрішнього прогину 2020-2030 рр., для регіону Складчастих Карпат 2020-2032 рр., для Передкарпатського прогину 2020-2034 рр., при цьому найбільш ймовірним слід вважати місяць липень.

Отримані результати свідчать, що активізація зсувів ритмічна і її можна прогнозувати; комплексне використання задіяних чинників є обґрунтованим; існує можливість довгострокового прогнозування протягом року, завдяки ритмічності трьох «піків» опадів у межах року; враховуючи періоди інтегрального показника, затухання активності передбачається у 2011-2017 рр. і у 2022-2026 рр., з ймовірністю 0,7 і більше слід очікувати зсуви у 2018-2022 рр. При цьому, найбільш ймовірними слід вважати місяці липень-серпень. Отримані дані деталізовані та узгоджуються з прогнозом, наведеним в роботах [18-19].

Основою методичних відмінностей досліджень є алгоритм, запропонований у роботі [85]. Особливостями даного розділу є новий підхід до використання фактичних даних, деталізація досліджень та розширення методів прогнозування.

### **Висновки.**

Довгостроковий аналіз зсувної активності для окремих інженерно-геологічних регіонів – Закарпатського внутрішнього прогину, Складчастих Карпат та Передкарпатського прогину виділив періодики активізації зсувних процесів на основі автокореляційного, кроскореляційного, спектрального аналізу Фур'є та нейромережевого аналізу. Крім основних чинників – сонячної активності та сумарної енергії землетрусів для деталізації прогнозу вибрано, опади, температуру, рівень ґрунтових вод.

Отже, варто відзначити:

1) Спектральний аналіз часових чинників показує наявність часових динамік в 5, 10, 28-30 років; активізацію зсувних процесів можна чітко простежити у великих циклах – понад 20 років, протягом яких цикл має два піки розвитку з пів циклами в 8-10 років;

2) визначено, що основні гармоніки динамічності часового прогнозу зсувних процесів мають період малої та великої активізації. Для всього Карпатського регіону виділяється спільний довгостроковий період тривалістю 29-30 років;

3) протягом кожного року виділяються три виразні аномальні періоди опадів, які притаманні весняним, літнім та осіннім часовим проміжкам, їх поведінка з року в рік підпадає під синусоїду, що узгоджується з ритмами сонячної активності. Зсуви гірських порід завжди відбуваються під час одного з цих періодів;

4) слід вважати, що ритмічність активізації зсувних процесів у межах року синхронна ритмічності метеопараметрів, що дозволяє виконувати середньострокове прогнозування зсувної активності протягом року;



5) довгострокове прогнозування активізації зсувів можливе з деталізацією часу за місяцями в межах року, що підвищує надійність завчасного попередження зсувної екологічної небезпеки.

Для Закарпатського внутрішнього прогину основний цикл активності зсувів за довгостроковим прогнозом складає 29 років. Зокрема, прогноз виділив найбільшу ймовірність зсувів у 2020-2021 роках – першого пів циклу (2019-2023 р.р.) та 2028-2030 рік – другого пів циклу (2027-2032 р.р.). Карпатська гірськоскладчаста система (Ж) через відмінності окремих інженерно-геологічних територій щодо геологічних та кліматичних умов розвитку зсувних процесів розглядалася як два окремих регіони: Складчасті Карпати (Ж3, Ж4) та Передкарпатський прогин (Ж1). Для Складчастих Карпат (Ж3, Ж4) виділені основні періодичності активізації зсувів тривалістю 21 та 32 роки. Підвищена ймовірність виникнення зсувів прогнозується для періоду 2020-2031 років. Регіон Передкарпатського прогину відзначається наявністю вагомих періодичностей 9-10, 26, 30 років. Прогноз можливої ймовірності виникнення зсувів виділив періоди 2020-2025 років та 2030-2034 років.

## **РОЗДІЛ 6. ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ПЛОЩИННОЇ УРАЖЕНОСТІ ЗСУВАМИ В МЕЖАХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ РЕГІОНІВ З УРАХУВАННЯМ ЧАСОВИХ РЯДІВ**

Поширення та розвиток зсувних процесів впливає на довкілля, кардинально змінюючи рельєф, при цьому знищуються великі площі лісових насаджень, деформуються русла річок, крім того, наслідки активізації зсувів спричиняють значні економічні та соціальні втрати для населених пунктів, дорожньо-транспортних комунікацій, ліній електропостачання. Особливо це стосується гірських районів, де активізація зсувів завдає найбільшої шкоди життєдіяльності людини.

На річках Карпатського регіону протягом року декілька разів можуть формуватися паводки і повені. За умови попереднього зволоження верхнього шару ґрунту повені провокують розвиток зсувів. Останній паводок 17-29 червня 2020 р, який охопив західні області, МНС України був класифікований як надзвичайна ситуація природного характеру державного рівня. В результаті стихії було підтоплено 349 населених пунктів, понад 14,3 тис. будинків, пошкоджено 3,5 тис. господарських споруд, 654 км автодоріг, 266 мостів. За попередніми розрахунками для відновлення пошкоджених об'єктів необхідні кошти у сумі понад 1000 млн. гривень [184]. Спостерігалася локальна активізація зсувів [31-32].

В Україні питання екологічної безпеки піднімається на державному рівні. У 2019 році прийнятий закон “Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року” [185], одним із завдань якого є “зниження екологічних ризиків з метою мінімізації їх впливу на екосистеми, соціально-економічний розвиток та здоров'я населення. Запровадження управління екологічним ризиком на основі його моделювання в режимі реального часу із залученням новітніх інформаційних технологій з метою захисту природних екосистем”.

Проблемі прогнозу, оцінювання ризику природного характеру присвячено чимало праць вітчизняних учених Г. І. Рудька [75-79], М. О. Адаменка [79-81], Є. О. Яковлева [76], С. П. Іванюти [186], Д. В. Касіянчука [187], М. О. Бондар [188].

Поняття “екологічного ризику” визначає можливість негативних наслідків, які можуть виникнути в результаті дії природних екзогенних геологічних процесів, зокрема, зсувів, оскільки вони впливають на безпеку життєдіяльності людини в подвійній мірі: перша – загроза життю людей під час активізації зсувного процесу, друга – величезні економічні втрати у випадку руйнування будівель, ліній ЛЕП, дорожньо-транспортних комунікацій, які знаходяться в зоні впливу зсунутих порід.

Оцінювання екологічного ризику в межах інженерно-геологічних регіонів враховує моніторингові дані активізації зсувів, особливості інженерно-геологічних умов розвитку та поширення зсувів, а також відмінності у режимі кліматичних параметрів (атмосферних опадів, температури повітря).

Щоб визначити наскільки інженерно-геологічні регіони, в межах досліджуваної території, охоплені зсувними процесами, використовувався “коефіцієнт ураженості”  $K_i$ , який враховує вплив усіх природних чинників і характеризує схильність території до розвитку зазначених процесів:

$$K_i = \frac{S_i}{S_i'} \quad (6.1)$$

де  $S_i$  - площа зсувів у межах інженерно-геологічного регіону;

$S_i'$  - площі інженерно-геологічних регіонів.

Закарпатський внутрішній прогин (З) займає площу 5,58 тис. км<sup>2</sup>. Зсуви розвиваються у четвертинних глинистих елювіально-делювіальних відкладах на схилах річок та у корі вивітрювання вулканічних порід. За типом зміщення – це зсуви-течії та зсуви блокового ковзання [2]. Всього на території прогину зареєстровано 820 зсувів площею 74,7 км<sup>2</sup>, коефіцієнт ураженості – 1,4%, щільність населення 96,63 особи/км<sup>2</sup>. Основні

характеристики зсувів: абсолютні відмітки 409-471 м, крутизна повздовжнього профілю  $19,5 - 25,0^\circ$ , невеликі розміри: довжина 270-419 м, ширина 201-348 м, середня потужність 6,7-16,0 м. (табл. 2.2). До основних чинників, що сприяють розвитку зсувів, належать особливості геологічної будови, наявність розломної тектоніки, висока сейсмічність, густота мережі річок  $0,8-1,6 \text{ км/км}^2$  [107], на яких часто формуються паводки та розвивається бічна ерозія, зволожений клімат, техногенна діяльність людини. Активізація зсувів за досліджуваний період відбулась у 1970, 1974, 1980, 1998-1999, 2001, 2008, 2010 роках.

У межах досліджуваної території регіону Складчастих Карпат (Ж3, Ж4) площею  $8,62 \text{ тис.км}^2$  зареєстровано 1532 зсувів площею  $256,17 \text{ км}^2$ , коефіцієнт ураженості – 3%, щільність населення  $64,59 \text{ особи/км}^2$ . Найбільш поширені структурні, пластичні зсуви та зсуви складного типу, що розвиваються на межі стику структурно-тектонічних зон, за типом зміщення переважають зсуви-течії та зсуви блокового ковзання. До вагомих природних чинників, що сприяють розвитку зсувів, належать тонкоритмічний глинистий фліш, який є середовищем розвитку зсувів, сейсмічність території, наявність густої мережі гірських річок  $1,4-2,0 \text{ км/км}^2$  [107], значна енергія рельєфу, велика кількість атмосферних опадів в середньому 1180 мм/рік, а також техногенна діяльність – вирубка лісів, підрізка схилів при будівництві. Зсуви характеризуються такими параметрами: крутизна повздовжнього профілю  $8-55^\circ$ , середні розміри  $924 \times 874 \text{ м}$ , площа від 0,4 до  $3,6 \text{ км}^2$ , середня потужність зсувних мас 13,0 м (табл. 2.2). Періоди активізації зсувів за досліджуваний період – 1969-1970, 1974, 1980, 1995, 1998-1999, 2001, 2008, 2010 роки.

Територія Передкарпатського прогину (Ж1) у межах досліджуваного регіону займає площу  $4,54 \text{ тис.км}^2$  є найбільш ураженою за площею поширення зсувів – зареєстровано 744 одиниць площею  $351,6 \text{ км}^2$ , коефіцієнт ураженості – 7,8%, щільність населення  $97,2 \text{ особи/км}^2$ . Зсуви Передкарпатського прогину розвиваються у четвертинних алювіальних,

алювіально-делювіальних відкладах, які нагромаджуються в річкових долинах Прута та Серету. Абсолютні відмітки зсувів 212-329 м, крутизна повздовжнього профілю 16,4-17,9°, характеризуються великими розмірами – довжина до 3500-5250 м, ширина 1300-2100 м, площа 5-11 млн. м<sup>2</sup>, потужність зсувних мас від 4,0 до 15,0 м (табл. 2.2). Крім геологічної будови на розвиток зсувів впливають густина річкової мережі 1,11 км/км<sup>2</sup> [106], часті паводки на річках регіону, невеликий рівень залягання ґрунтових вод, а також техногенна діяльність (підрізка схилів при спорудженні лінійних об'єктів, відбір гравійно-щебенистого матеріалу). Часовий ряд активізації зсувів – 1969-1970, 1974, 1979-1980, 1998, 2001, 2005, 2008, 2010 роки.

Як видно, з вищесказаного, для інженерно-геологічних регіонів існують спільні періоди масової активізації зсувів і відмінні – регіональні етапи розвитку зсувів, що зумовлені локальним режимом кліматичних параметрів.

Ризик – це складна система розрахунків, що має перш за все, вивчити причинно-наслідковий зв'язок між чинниками просторового поширення та часової динаміки розвитку зсувів. Важливим етапом, при розгляді ризиків та їх оцінки є аналіз території з точки зору поширення зсувних площ, чи ймовірного впливу на життєдіяльність людей. Перша складова розраховується у вигляді ураженості, що має фізичний зміст процесу просторового поширення зсувів, а головним чином - території, на якій будуть розвиватись зсувні процеси, відповідно до просторової складової активізації. Друга складова – ймовірність формування ризику для людини, виходячи з умови рівномірного розподілу населення в межах площі дослідження.

Розрахунок першої складової ризику просторового поширення зсувів для окремих регіонів виконувався за формулою:

$$R_{up_i} = \sum_{i=1}^n f(\Phi_{ij}) \cdot K_i , \quad (6.2)$$

де  $f(\Phi_{ij})$  - значення ймовірності зсувних процесів у межах регіону;

$K_i$  - коефіцієнт ураженості регіону.

Розрахунок другої складової ризику для життєдіяльності людини в межах окремих інженерно-геологічних регіонів виконувався за формулою:

$$R_{нас_i} = \sum_{i=1}^n f(\Phi_{ij}) \cdot N \cdot S_i, \quad (6.3)$$

де  $f(\Phi_{ij})$  - значення ймовірності зсувних процесів у межах регіону;  
 $N$  – кількість населення в межах окремих інженерно-геологічних регіонів;  
 $S_i$  - площі інженерно-геологічних регіонів.

Інтегральне оцінювання ризиків виконано шляхом їх накопичення і дозволяє оцінити наскільки зростає небезпека в регіонах у майбутньому, враховуючи просторовий розподіл і прогнозні часові ряди активізації зсувів. На рис. 5.1, 5.2 наведено графіки ризиків площинної ураженості (шкала ліворуч) та ризиків для життєдіяльності населення (шкала праворуч).

Аналіз проведених розрахунків свідчить, що найнебезпечнішим з точки зору зростання територій, охоплених зсувними процесами, є регіон Передкарпатського прогину, в якому за прогнозний двадцятирічний період передбачається збільшення ураженості зсувами на 12,32%; для регіону Складчастих Карпат збільшення ураженості прогнозується на 12,08%; для регіону Закарпатського прогину – відповідно на 11,72%.

Ризик для життєдіяльності людей у зоні потенційного впливу зсувів також найбільше зростає в регіоні Передкарпатського прогину – на 12,84%; в регіоні Складчастих Карпат – на 12,19%; в регіоні Закарпатського прогину – на 11,17% [28].

Такий розподіл ризиків пояснюється тим, що Передкарпатський прогин характеризується найбільшою початковою ураженістю зсувами та найбільшою щільністю населення.

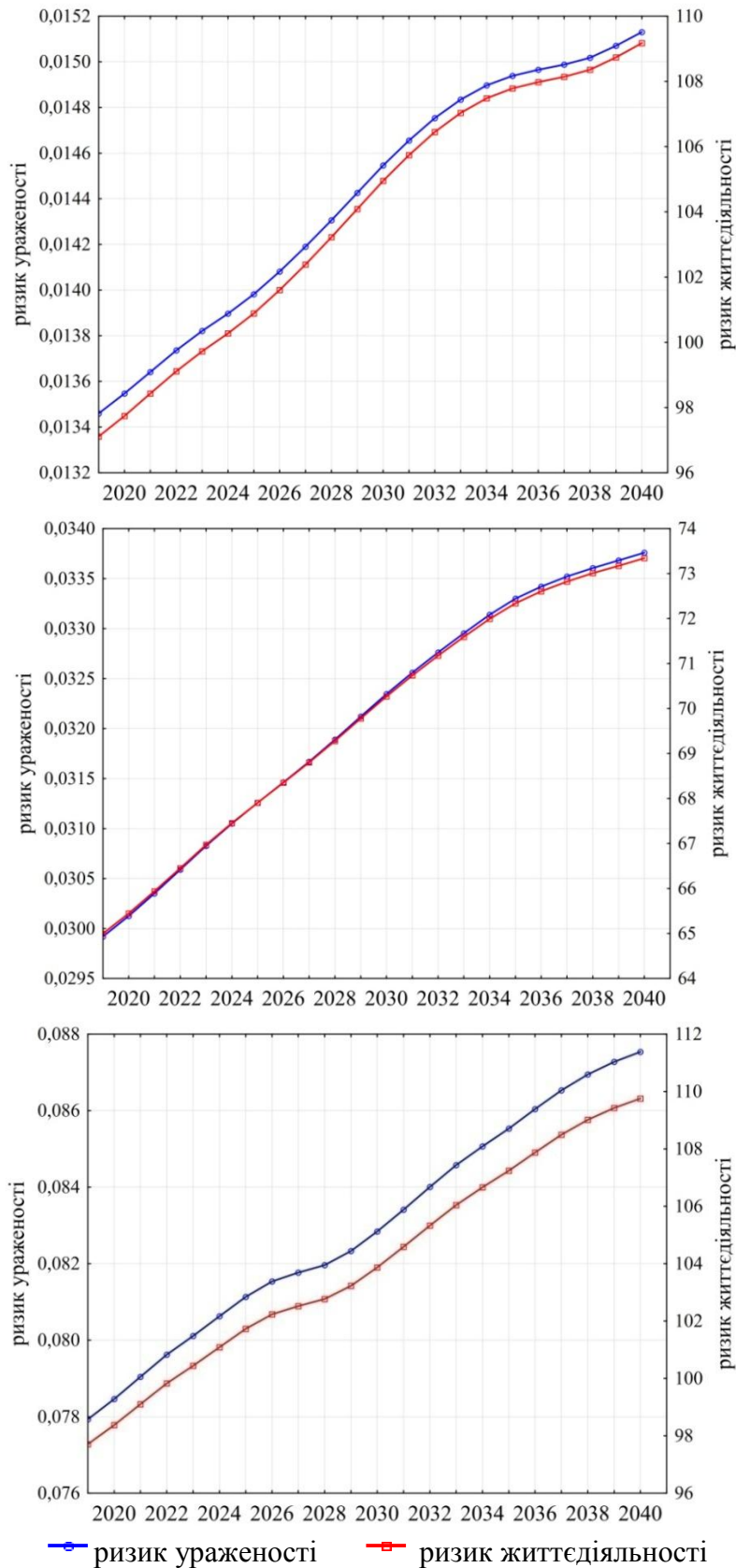


Рис 6.1. Природний екологічний ризик довгострокового прогнозу ймовірності зсувів (а – Закарпатський внутрішній прогин (З), б – Складчасті Карпати (Ж3, Ж4), в – Передкарпатський прогин (Ж1))

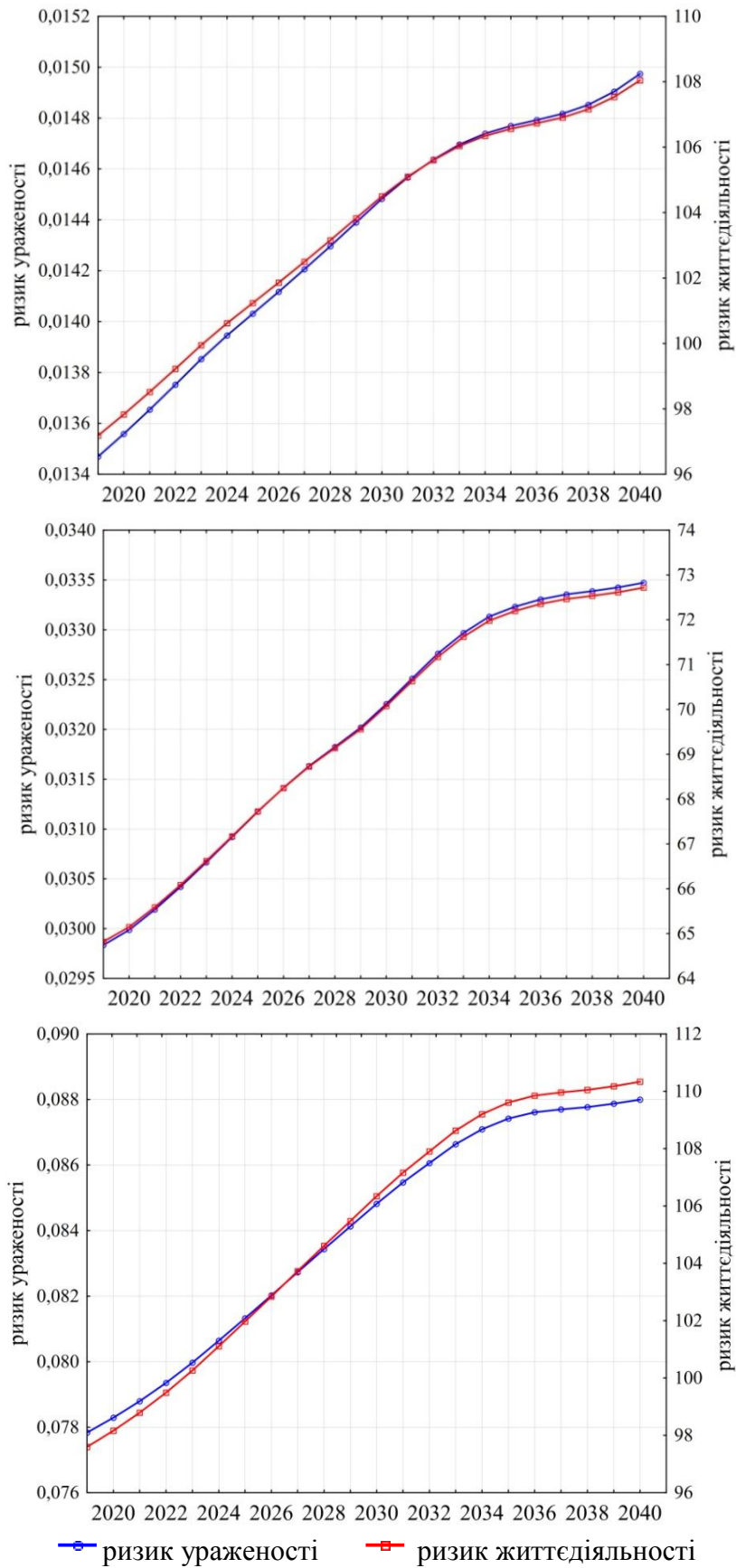


Рис 6.2. Природний екологічний ризик середньострокового прогнозу ймовірності зсувів (а – Закарпатський внутрішній прогин (З), б – Складчасті Карпати (Ж3, Ж4), в – Передкарпатський прогин (Ж1))



**Висновки.** Отже, зростання екологічного ризику зсувів тісно пов'язане як з площами розвитку зсувних процесів, так і зі щільністю населення регіону. Тому, прийняття виважених управлінських рішень на регіональному рівні щодо зменшення негативного впливу на довкілля наслідків зсувних процесів, повинні зважати на ризик поширення ймовірних зсувів. Розраховані еколого-геологічні ризики враховують особливості часової динаміки (прогнозна ймовірність розвитку зсуву), просторовий розподіл зсувів (урахування відмінностей геологічної, тектонічної, літологічної будови, сейсмічних, гідрологічних та кліматичних чинників), щільність населення у межах інженерно-геологічних регіонів, тому прогнозуючи ймовірну небезпеку від зсувів, можна зменшити негативний вплив на довкілля, а також економічні та соціальні втрати суспільства.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі висвітлено актуальну наукову проблему часового довгострокового та середньострокового прогнозу зсувних процесів на регіональному рівні, вирішення якої зводиться до оцінки аналізу взаємозв'язку просторово-часових геофізичних та супутніх чинників на розвиток зсувної активності.

Основні теоретичні та наукові дослідження, виконані авторкою, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Для Закарпатського внутрішнього прогину розвиток зсувів характерний в обводнених та роздроблених глинистих породах елювіально-делювіальних відкладів та у корі вивітрювання вулканічних порід, переважають зсуви течії. Абсолютні відмітки зсувів 379,3–472 м, потужність зсувних мас 10,6 м, крутизна схилів 20,8°. Для регіону Складчастих Карпат зсуви розвиваються у флішових породах, на межі стику структурно-тектонічних зон, за типом зміщення переважають зсуви течії з потужністю до 6м, на абсолютних відмітках 200–500 м, з крутизною схилів 15–25°, а також зсуви блокового ковзання потужністю 10–17 м, на абсолютних відмітках 580–990 м, з крутизною схилів 25–30°. Для регіону Передкарпатського прогину характерне поширення зсувів у четвертинних алювіальних, алювіально-делювіальних відкладах, які нагромаджуються у річкових долинах, на абсолютних відмітках 212–329 м, крутизна схилу 16,4–17,9° потужність зсувних мас 4,2–5,6 м, переважають зсуви-течії. Аналіз ураженості зсувами Карпатського регіону дає підставу відокремити різні типи зсувів відносно інженерно-геологічних одиниць.

2. Динаміка активізації зсувів відносно тектонічного районування свідчить, що найбільший розвиток зсувів характерний для покривно-лускового стилю тектоніки, коли породи зім'яті у складки, розділені крутими насувами, ускладнені розломами – Кросненська зона, Поркулецький, Дуклянський, Рахівський покриви Складчастих Карпат, Станіславська

підзона Передкарпатського прогину, Центральна зона Закарпатського внутрішнього прогину. Встановлено приуроченість зсувів до геофізичних аномалій, які відображають розломні зони та зони тріщинуватості гірських порід, свідчить про доцільність застосування гравірозвідки та магніторозвідки для картування послаблених зон гірських порід. Від'ємні гравітаційні аномалії відображають четвертинні відклади, високі градієнтні зони контролюють тектонічні порушення. Інтенсивні аномалії магнітного поля Закарпатського внутрішнього прогину пояснюються впливом вулканічних порід високої намагніченості. Осадкові та метаморфічні породи картуються аномаліями різного знаку через невелику намагніченість та контрастність щільності порід. Більшість зсувів тяжіє до від'ємних гравітаційних аномалій, спричинених приповерхневими осадовими розущільненими породами, яким у зонах зсувів притаманна втрата міцності, а також до додатних магнітних аномалій, що пов'язано з типом порід та геометрією приповерхневих товщ, яка сформована під впливом виступів фундаменту.

3. За результатами статистичного аналізу характеристик зсувів відносно літологофаціальних комплексів підстелених порід встановлено, що більшість зсувів (63% від загальної кількості) поверхневого покриву розвиваються в породах туфо-глинисто-піщаної, глинисто-піщано рівнинної, глинисто-піщано-карбонатно флішоїдної товщі мають глетчероподібну форму, зсуви на території глинисто-піщано-флішової фації, в основному, циркоподібні, для теригенно-вулканогеннокарбонатного покриву і піщано-мергельно-вапняково-доломітової товщі характерні зсуви фронтального типу. При цьому, встановлено ступінь зв'язку характеристик зсувів з морфологією рельєфу: абсолютна відмітка, відстань до базису ерозії, крутизна повздовжнього профілю та геометричними характеристиками зсувів. Переважна більшість зсувів розвивається на схилах з кутами 15-30° на висоті 300-700 м. Прямий зв'язок (0.16-0.39) між абсолютними відмітками та відстанями до базису ерозії свідчить про вплив річкової ерозії на розвиток

зсувів. Встановлено, що найбільш ураженими є схили східної, південної та західної експозицій. Аналіз теоретичного закону розподілу крутизни поздовжнього профілю показав двомодальний розподіл і дозволив класифікувати різні типи зсувів за механізмом зміщення – зсуви течії та зсуви блокового ковзання. Площинна диференціація зазначених чинників тяжіє до інженерно-геологічного районування, тому часовий прогноз доцільно здійснювати в межах кожного з цих регіонів.

4. За результатами кореляційного та спектрального аналізу Фур'є встановлено взаємозв'язок геофізичних (сонячної активності, сумарної річної енергії землетрусів), супутніх чинників (рівнів ґрунтових вод, атмосферних опадів і температури повітря) з розвитком зсувів. Виявлено, що сонячна активність та енергія землетрусів випереджають активізацію зсувів на період від одного до п'яти років, що, можливо, пояснюється попереднім впливом сонячних ритмів на циркуляційні процеси атмосфери Землі та підготовчими діями сейсмічних процесів через збільшення тріщинуватості порід, наростання напружено-деформованого стану, які через роки призводять до розвитку зсувних процесів. Встановлено, що серед часових чинників немає домінуючого, тому слід враховувати кожен з них.

5. Розроблена методологія середньострокового прогнозу зсувів на основі квазісинусоїдальної часової закономірності трьох періодів атмосферних опадів протягом року, яка узгоджується з ритмами сонячної активності. Доведено, що екстремальна річна кількість опадів, яка перевищує норму на 20 і більше відсотків, з високою ймовірністю є чинником масової активізації зсувів. Виконано середньостроковий та довгостроковий прогноз зсувів шляхом комплексного використання геофізичних та супутніх чинників для окремих інженерно-геологічних регіонів. На основі отриманих даних, активізація зсувів передбачається для: Закарпатського внутрішнього прогину у 2020-2022 та 2026-2031 рр; для регіону Складчастих Карпат – 2020-2024 та 2028-2032 рр., для території Передкарпатського прогину – 2020-2025 та 2030-2036 рр. з деякими невеликими періодами затишся. Середньостроковий

прогноз показав, що найбільш ймовірним місяцем літньої активізації зсувів слід вважати другу половину червня і липень місяць. Отримані часові прогнози можна буде корегувати за допомогою нових моніторингових досліджень.

б. Виконано оцінювання ризику в межах окремих регіонів, яке враховує моніторингові дані активізації зсувів, особливості інженерно-геологічних умов, щільність населення, а також просторово-часові геофізичні – сонячну активність, сумарну річну енергію землетрусів та супутні чинники: рівні ґрунтових вод, сумарну річну кількість атмосферних опадів, середньорічну температуру повітря. Аналіз розрахунків свідчить що найнебезпечнішим з точки зору територій, охоплених зсувними процесами, є регіон Передкарпатського прогину, в якому за прогнозний двадцятирічний період передбачається збільшення ураженості зсувами на 12,32%; для регіону Складчастих Карпат відповідно – на 12,08%; для регіону Закарпатського прогину – на 11,72%. Ризик для життєдіяльності людей у зоні потенційного впливу зсувів теж найбільше зростає в регіоні Передкарпатського прогину – на 12,84%; в регіоні Складчастих Карпат – на 12,19%; в регіоні Закарпатського прогину – на 11,17%. Такий розподіл ризиків доводить, що зростання небезпеки від зсувів тісно пов'язане як з площами розвитку зсувних процесів, так і зі щільністю населення регіону, тому прийняття виважених рішень на регіональному рівні щодо запобігання наслідків зсувних процесів повинно відбуватись із врахуванням оцінювання ризику поширення ймовірних зсувів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП – Київ, Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2020. - 104 с.

2. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП – Київ: Державна служба геології та надр України, Державне наукововиробниче підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”, 2013. – 29 іл. – 101 с.

3. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>

4. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: колективна монографія. За ред. проф. Е.Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009.–294с.

5. Прогнозування зсувів: колективна монографія. За ред. проф. Е.Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 601с.

6. Кузьменко Е.Д., Блінов П.В., Климчук Л.М., Карпенко О.М., Петрик М.В., Штогрин Л.В. Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 1. С. 74-83.

7. Гошовский С.В., Кузьменко Э.Д., Блинов П.В., Карпенко А.Н., Штогрин Л.В. Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе: 1. Пространственное распределение оползней. Ритмичность как теоретическая основа временного прогнозирования. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 2. С. 40-49.

8. Гошовский С.В., Кузьменко Э.Д., Блинов П.В., Карпенко А.Н., Штогрин Л.В. Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе: 2. Временной прогноз. Обоснование периода последующей массовой активизации. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 3. С. 64-72.

9. Штогрин Л.В. Результати застосування методу порівняльної оцінки стійкості схилів у Закарпатському регіоні та визначення деяких прогнозних параметрів. *Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2004. № 3 (12). С. 66-71.

10. Кузьменко Е.Д., Лящук Д.Н., Чебан В.Д., Штогрин Л.В. Обґрунтування вибору геофізичних, геологічних та геоморфологічних параметрів для оцінки зсувонебезпеки і методика їх комплексної інтерпретації. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: збірник наукових праць*. Київ, 2005. С. 333-349.

11. Кузьменко Е.Д., Журавель О.М., Чепурна Т.Б., Чепурний І.В., Штогрин Л.В. Прогнозування екзогенних геологічних процесів Частина 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. Закономірності активізації зсувів. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2011. № 3. С.61-74.

12. Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., Нікіташ О.О., Штогрин Л.В. Довгострокове прогнозування зсувних процесів на території Правобережжя Київського водосховища. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2012. № 1(12). С.93-102.

13. Кузьменко Е.Д., Крив’юк І.В., Штогрин Л.В. Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2013. № 1(14). С. 176–187.

14. Кузьменко Е.Д., Штогрин Л.В., Чепурний І.В. Аналіз впливу геологічної будови гірських порід на характеристики зсувів. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2014. № 2(17). С. 112-124.

15. Штогрин Л.В., Касіянчук Д.В. Про можливий зв'язок між періодичністю опадів, активізацією зсувів та фазами Місяця. *Науковий журнал “Збірник наукових праць УкрДГРІ”*, Київ: УкрДГРІ, 2015. № 4, С. 93-102.

16. L. Davybida, D. Kasiyanchuk, L. Shtohryn, E. Kuzmenko, M. Tymkiv. Hydrogeological Conditions and Natural Factors Forming the Regime of Groundwater Levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*. – Польща, Варшава, Issue 19(6), 2018.– pp. 34-44

17. Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kuzmenko E. The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpathian region of Ukraine. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2020, Vol. 15, No.1, p. 157 – 166.

18. Кузьменко Е.Д., Штогрин Л.В. Про необхідність комплексного використання часових чинників при середньо- та довгостроковому прогнозуванні зсувних процесів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*, Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. №2(28). С. 63-73.

19. Кузьменко Е.Д., Карпенко О.М., Штогрин Л.В., Петрик М.В. До питання короткострокового прогнозу зсувів в Закарпатті. *Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: тези доповідей науково-практичної конференції*. Київ: Знання, 2004. С. 84-86.

20. Кузьменко Е.Д., Штогрин Л.В., Крив'юк І.В., Гончарук А.П., Скороход Г.А. Просторовий прогноз ймовірності зсувонебезпеки на окремих ділянках південного берега Криму. *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VI міжнародної*



наукової конференції. Київ: Вид-во Київського національного університету, 2005. С. 105-106.

21. Штогрин Л.В. Порівняльна характеристика карпатських зсувів. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології*: матеріали XVII міжнародного науково-технічного симпозиуму, Алушта, 10-15 вересня 2012 р. Львів: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2012. С. 95-101.

22. Штогрин Л.В. Застосування кластерного аналізу для оцінки просторового розподілу зсувів. Всеукраїнська науково-практична конференція “*Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам’яті П.Г.Черняги*”: збірник тез. Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2014. С. 218-219.

23. Штогрин Л.В., Штогрин Т.М. Ураженість зсувами відповідно до тектонічного районування на прикладі Карпатського регіону. *Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики*: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2016. С. 314-317.

24. Kasiyanchuk, D., Shtohryn, L., Yazlovetska, N., Levitska, M. Methodology of time forecast of exogenous geological processes Methodology of time forecast of exogenous geological processes. [Електронний ресурс]: *17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects*, 14-17 May 2018, Kyiv.

25. Kuzmenko E., Cherpurna T., Shtohryn L., Cherpurnyi I., Matvii Ye\*. On the issue of predicting the activation of EGP in the Transcarpathian region. [Електронний ресурс]: *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 13-16 May 2019, Kyiv.

26. Л. Штогрин. Застосування статистичних методів для прогнозування зсувних процесів [Текст]. Міжнародна наукова інтернет-конференція *"Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та*

*технічні аспекти становлення*". Збірник тез доповідей: випуск 47 (м. Тернопіль, 8 квітня 2020 р.). Тернопіль. 2020. С. 57-58.

27. L. Davybida, D. Kasiyanchuk, L. Shtohryn. Spatial analysis of the relation between the distribution of dangerous exogenous geological processes and landscape hydrogeological complexes in Transcarpathian. [Електронний ресурс]: Online access: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2020/spatial-analysis-relation-between-distribution-dangerous-exogenous-geological>, *GeoTerrace* – 2020, 07-09 December 2020, Lviv.

28. Л.В. Штогрин, Д. В. Касіячук. Оцінювання екологічного ризику площинної ураженості зсувами в межах інженерно-геологічних регіонів. [Текст]. Міжнародна науково-технічна конференція онлайн “*Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази*”. Збірник тез доповідей: (м. Івано-Франківськ, 8-9 грудня 2020 р.). Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2020. С.166-167.

29. Л.В. Штогрин, М.В. Штогрин. Дослідження впливу аномальних опадів на активізацію зсувів у Карпатському регіоні України. [Текст]. Міжнародна науково-технічна конференція онлайн “*Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази*”. Збірник тез доповідей: (м. Івано-Франківськ, 8-9 грудня 2020 р.). Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2020. С.168-169.

30. Изучение режима оползневых процессов / [А.И. Шеко, Г.П. Постоев, Н.И. Горяинов и др.] – М.: Недра, 1982. – 255 с.

31. У Чернівецькій області зсув ґрунту пошкодив дорогу [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://www.unian.ua/pogoda/news/pogoda-v-ukrajini-u-cherniveckiy-oblasti-zsuv-gruntu-poshkodiv-dorogu-sinoptik-11022302.html>

32. На Закарпатті злива спричинила зсув ґрунту та розмила дорогу [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://varta1.com.ua/na-zakarpatti-zlyva-sprychynyla-zsuv-gruntu-ta-rozmyla-dorogu-foto/>

33. У Норвегії внаслідок зсуву у море зміло 8 будинків.[Електронний ресурс]./Режимдоступу–

<https://www.eurointegration.com.ua/news/2020/06/4/7110733/>

34. Повені і зсуви ґрунту в Італії та Швейцарії: є жертви. [Електронний ресурс]. / Режим доступу –

<https://www.eurointegration.com.ua/news/2014/11/17/7027861/>

35. Кількість жертв зсуву в М'янмі перевищила 60 осіб [Електронний ресурс]. / Режим доступу –

<https://www.unn.com.ua/uk/news/1818739-kilkist-zhertv-zsuvu-v-myanmar-perevischila-60-osib>

36. У Непалі від повеней та зсувів загинуло 32 особи. [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://www.ukrinform.ua/rubric-world/2739872-u-nepali-vid-povenej-i-zsuviv-zaginuli-32-osobi.html>

37. У Китаї стався зсув ґрунту, кількість жертв сягнула 36 осіб [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://gordonua.com/ukr/news/worldnews/-u-kitaji-stavsja-zsuv-runtu-kilkist-zhertv-dosjagla-36-osib-1151459.html>

38. Ingeborg K. Krøgli, Graziella Devoli, Hervé Colleuille, Søren Boje, Monica Sund, and Inger Karin Engen. 2018. The Norwegian forecasting and warning service for rainfall- and snowmelt-induced landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 1427–1450, 2018. [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://nhess.copernicus.org/articles/18/1427/2018/>

39. Reid M.E., LaHusen R.G., Baum R.L., Kean J.W., Schulz W.H., and Highland L.M., 2012, Real-time monitoring of landslides: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2012-3008, 4 p. [Електронний ресурс] / Режим доступу – <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-1347-2.pdf/>

40. Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice Proceedings of the 12th International Symposium on Landslides (Napoli, Italy, 12-19 June 2016) [Електронний ресурс]/ Режим доступу–

<https://www.amazon.com/Landslides-Engineered-Slopes-Experience-Practice/dp/1138029882>

41. 35th International Geological Congress (IGC) [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://pastglobalchanges.org/calendar/2016/127-pages/1464-35th-international-geological-congress-igc>

42. The Fourth World Landslide Forum, Ljubljana, 2017 . [Электронный ресурс] / Режим доступа – <https://wlf4.fgg.uni-lj.si/>

43. Активізація небезпечних геологічних явищ у Закарпатті як наслідок екстремальних паводків / [І.Д. Багрій, П.В. Блінов, П.Ф. Гожик та ін.]. – К.: ІГН НАН України, 2004. – 210 с.

44. Факторы формирования и развития оползневых процессов в специфических условиях территории КБР, их прогноз и мониторинг / Д.А. Манукьян, О.Б. Кизарисова // Проблемы научного обеспечения развития эколого-экономического потенциала России: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции 15-19 марта 2004 г. – М., 2004. – 344 с.

45. Иванов И. П., Тржцинский Ю. Б. Инженерная геодинамика./ Учебник — СПб, Наука, 2001, — 416 с.

46. Бондарик Г.К. Классификация инженерно-геологических прогнозов и перспектива развития метод прогнозирования. – Труды ВСЕГИНГЕО, вып. 57. М. 1972, с. 5-19.

47. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней.– М.: Недра, 1971. – 104 с.

48. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов.– М.: Недра, 1978. – 308 с.

49. Кюнтцель В.В., Тарасова Г.И. Методы регионального прогнозирования оползней.– М., 1977. – 145 с. - (Гидрогеология и инженерная геология. – Обзор /ВИЭМС).

50. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. – М.: Недра, 1977. – 135 с.

51. Гулакян К.А., Саркисян Д.Б. Инженерно-геологическое прогнозирование оползней. – М., 1980. – 41 с. – (Гидрогеология и инженерная геология. – Обзор / ВИЭМС).

52. Гулакян К.А., Зуев В.В., Осюк В.А. Инженерно-геологическое прогнозирование экзогенных геологических процессов. – М., 1992. – 39 с. – (Гидрогеология и инженерная геология: – Обзор инф. Вып. 3 / Геоинформация).

53. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на европейской территории СССР и его региональный прогноз.– М.: Недра, 1980 – 213 с.

54. Методы долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов (под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова). – М.: Недра, 1984 – 167 с.

55. Методические рекомендации по составлению долгосрочных прогнозов экзогенных геологических процессов в системе государственного мониторинга геологической среды / Шеко А.И., Постоев Г.П., Круподеров В.С., Дьяконова В.И., Мальнева И.В., Парфенов С.И., Бондаренко А.А., Круглова Л.В. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1999. – 78 с.

56. Долговременные прогнозы проявления экзогенных геологических процессов / [Под ред. В.Т. Трофимова]. – М.: Наука, 1985. – 152 с.

57. Kenan Gelisli, Hakan Ersoy. Landslide investigation with the use of geophysical methods: a case study in Eastern Turkey. *Advances in Biology & Earth Sciences* Vol.2, No.1, 2017, pp.52-64

58. Guiju Wu, Hongbo Tan, Zhegbo Zou, Guangliang Yang, Chongyang Shen. Gravity distribution characteristics and their relationship with the distribution of earthquakes and tectonic units in the North–South seismic belt, China. *Geodesy and Geodynamics*. 1992. Vol. 6, P. 194-202. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674984715000208>

59. Sungchan Choi, In-Chang Ryu, Young-Cheol Lee, Yujin Son. Gravity and magnetic field interpretation to detect deep buried paleobasinal fault lines

contributing to intraplate earthquakes: a case study from Pohang Basin, SE Korea. *Geophysical Journal International*, 2020. Vol. 220, Issue 1, January 2020, P. 490-500. URL <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GeoJI.220..490C/abstract>

60. Майко М.І., Мартинчук Г.П., Регнацький В.О., Леуськов К.О. Моніторинг екзогенних геологічних процесів в міжгірському районі Закарпатської області з використанням геофізичних методів. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. С. 61-68.

61. Чебан В. Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття: автореф. дис. ... кандидата геол. наук. Івано-Франківськ: 2002. 19 с.

62. Воробьев А.А. Механикоэлектрическое преобразование энергии при пластической деформации твердых тел. Изд. ТГУ, 1977.

63. Безсмертний А.Ф. Комплексні геофізичні дослідження зсувів і побудова прогнозних моделей їх активності: автореф. дис... кандидата геол.-наук: Київ: 2004. – 20 с.

64. Тяпкин О. К. Использование гравиразведки и магниторазведки в экологических исследованиях. Геофізичний журнал. 2002. т.24, №2. С.71-78.

65. Іванік О.М. Просторовий аналіз та прогнозна оцінка формування водно-гравітаційних процесів на основі ГІС у Карпатському регіоні / О.М. Іванік // Геоінформатика, К., 2008. – № 4. – С. 52-58.

66. Крив'юк І.В. Визначення зсувної небезпеки локального рівня з використанням геофізичних методів [Текст]: автореф. дис. ... канд. геол. наук: 04.00.05. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. - Київ, 2012. - 19 с.

67. Про комплексні геофізичні дослідження по оцінці небезпеки розвитку екзогенних геологічних процесів та моніторингу зсувонебезпечних ділянок в Закарпатті: Звіт по НДР. [Р.П.Манзик, Я.Н. Назар, Т.М. Йосипенко, Е.Д. Кузьменко, Л.В. Штогрин, О.П. Вдовіна, І.В. Крив'юк, Д.Н. Лящук, А. Діжак]. – Львів: Фонди ЗУГРЕ, 2008.

68. Кононова Н.К. Влияние изменения характера атмосферной циркуляции на активность опасных природных процессов / Н.К. Кононова, И.В. Мальнева // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - М., 2003. - № 4. - С. 52–62.

69. Мальнева И.В. Оценка активизации опасных геологических процессов в районе Большого Сочи и Красной Поляны / И.В. Мальнева, Б.М. Крестин, Д.Г. Гонсировский, Н.К. Кононова // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 6. – С.29-33.

70. Dordea, D., Casapu, I., Sprinceana, V., Dobrescu, A., Gabudianu, D. The implementation of landslide hazard and risk mapping in the regional development programs of Romanian territory: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1341133.html>

71. Zakhidova, D., Abdurakhmanov, A. Remote Sensing and GIS technologies for landslide geohazard monitoring: [Электрон. ресурс] <https://www.lib.uchicago.edu/about/news/abstracts-for-35th-international-geological-congress-available-online/>. – Режим доступа: <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1283795.html>

72. Ilcewicz-Stefaniuk, D., Stefaniuk, M. Landslide processes in the Vistula River Valley: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1287862.html>

73. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины. – К.: Наукова думка, 1992. – 251 с.

74. Маркарьян В.В. Исследование и прогноз оползневого процесса в майкопских отложениях (на примере оползневых районов Абхазии): дисс. канд. геол.-мин. наук: 04.00.07 / Маркарьян В.В. – М., ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии, 1984. – 272 с.

75. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): Монография / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш - К.: Задруга, 2006. – 624 с.

76. Рудько Г.І. Наукові і методичні основи прогнозування екологічного ризику небезпечних геологічних процесів у Закарпатті у зв'язку з їх масовою активізацією / Г.І. Рудько, Л.М. Климчук, Є.О. Яковлев // Мінеральні ресурси України. – 1999. – № 2. – С.42-45.

77. Рудько Г.И. Геодинамика и прогноз опасных геологических процессов Карпатского региона: Автореф. дис. .... д-ра геол.-минерал. наук: 04.0.07 / Ин-т геол. наук НАН Украины. – К., 1991. – 65 с.

78. Рудько Г., Якимів І. Закономірності та екологічний ризик розвитку небезпечних геологічних процесів Карпатського регіону України. – Івано-Франківськ: Факел, 1999. – 139 с.

79. Адаменко О.М. Основы экологической геологии (на примере экзодинамических процессов Карпатского региона Украины) / О.М. Адаменко, Г.И. Рудько – К.: Манускрип, 1995.– 211 с.

80. Адаменко О.М. Екологічна геологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів екологічних, геологічних, географічних спеціальностей / О.М. Адаменко, Г.І. Рудько. – К.: Манускрипт, 1997. – 348 с.

81. Адаменко О.М. Екологічна геоморфологія: підручник / О.М. Адаменко, Г.І. Рудько, І.П. Ковальчук. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 411 с.

82. О создании системы временного прогноза оползней в Карпатском регионе / Э.Д. Кузьменко, С.В. Гошовский, П.В. Блинов, А.Н. Карпенко // Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: наук.-прект. конф.: тези доп. – К.: Знання, 2004. – С. 87-89.

83. Кузьменко Э.Д. Аналитическая геоинформационная система пространственно-временного прогнозирования оползневых процессов / Э.Д. Кузьменко, А.Н. Карпенко, А.М. Журавель // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VI Міжнар. наук. конф. – К.: ВПЦ "Київський нац. ун-т", 2005. – С. 16-18.

84. System of space-time forecast of landslide processes / E.D. Kuzmenko, Y.I. Kryzhanivsky, A.M. Karpenko, A.M. Zhuravel // Proceedings XVIII-th



Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association: Belgrade, Serbia, September 3-6 2006. – P. 310-312.

85. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом №310. / Кузьменко Э.Д., Крыжанивский Е.И., Карпенко А.Н., Журавель А.М. // Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез.- 2006.- Москва: МААНОИ, 2007.- С.64-65.

86. Кузьменко Э.Д. Универсальный алгоритм прогнозирования экзогенных геологических процессов / Э.Д. Кузьменко // Матеріали VIII Міжнар. наук. конф. “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”. – Київ: Київський національний університет, 2007. – С. 16–17.

87. Прогнозна оцінка можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області у 2000 р.: Звіт про науково-дослідну роботу / Яковлев Е.О., Красноок Л.М., Лескова Г.В. та ін. – Київ: ДІГФ „Геоінформ”, 2000. – 73 с.

88. Розробка системи прогнозування зсувних процесів у Карпатському регіоні: Звіт про науково-дослідну роботу за 2002 р. / Кузьменко Е.Д., Карпенко О.М., Вдовина О.П. – Івано-Франківськ, Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу, 2002. - 64 с.

89. Saito M. (1969). Forecasting time of slope failure by tertiary creep. In Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 25–29 Aug. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands. Vol. 2, 677–683.

90. Voight B. (1988). Materials science law applies to time forecasts of slope failures. In: Bonnard (Editor) 5th Int. Symp. Landslides Lausanne 1988. Balkema, Rotterdam, 1471-1472.

91. Xiaoping L., Junling X., Hesheng L. and Gongxian W. (1996). Recent development of time prediction for landslide in China. Landslides, Senneset (ed.) © 1996 Balkema, Rotterdam. ISBN: 9054108185.

92. Jurich D.M. and Miller R. J. (1987). Acoustic Monitoring of Landslides. Transportation Research Record No. 1119, Geotechnology, 1987, pp. 30-38. ISBN: 0-309-04472-3.

93. Ortigao B. (2000). Rio-Watch: The Rio de Janeiro landslide watch. MonoSys Guide to Monitoring Quarter 1 2000. [Электронный ресурс]/Режим доступа <http://www.terratek.com.br/downloads/Geotechnical>

94. Jianye Ching, Hung-Jiun Liao. (2006). Predicting landslides probabilities along mountain road in Taiwan, TAIPEI2006 International Symposium on New Generation Design Codes for Geotechnical Engineering Practice, Nov. 2~3, 2006, Taipei, Taiwan, pp. 1-9.

95. Baum R.L., Godt J.W., Harp E.L., McKenna J.P., and McMullen, S.R. (2005). Early warning of landslides for rail traffic between Seattle and Everett, Washington, USA. Landslide Risk Management - Hungr, Fell, Couture & Eberhardt (eds), ©2005 Taylor & Francis Group, London, pp. 731-740. ISBN: 04 1538 043 X.

96. Arnhardt C., Asch K., Azzam R, Bill R., Fernandez-Steeger T.M., Homfeld S.D., Kallash A., Niemeyer F, Ritter, H., Toloczyki, M., and Walter, K. 2007. Sensor based Landslide Early Warning System - SLEWS. Development of a geoservice infrastructure as basis for early warning systems for landslides by integration of real-time sensors. GEOTECHNOLOGIEN Science Report. Early Warning Systems in Earth Management. Kick-Off-Meeting 10 October 2007 Technical University Karlsruhe, pp.75 - 88.

97. Matthias Busslinger Landslide time forecast methods HSR University of Applied Sciences Institut für Bau und Umwelt Rapperswil, Switzerland, 2009, p. 31.

98. Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. & Stark, C.P. 2007. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. Meteorog Atmos Phys, 98., 3, 239-267.

99. Guzzetti, F., Gariano, S. L., Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Marchesini, I., Rossi, M. and Melillo, M. (2019) Geographical landslide early warning systems.

Earth-Science Reviews In press. [Електронний ресурс]/Режим доступу <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825219304635>

100. Ching, J., Liao, H-J. 2006. Predicting landslides probabilities along mountain road in Taiwan. International Symposium on New Generation Design Codes for Geotechnical Engineering Practice, Nov. 2-3, Taipei, Taiwan, 1-9. [Електронний ресурс] / Режим доступу [https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812772480\\_0026](https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812772480_0026)

101. Capparelli, G. and Tiranti, D. 2010. Application of the MoniFLaIR early warning system for rainfall-induced landslides in Piedmont region (Italy). Landslides, 7, 401-410.

102. Abraham, M.T.; Satyam, N.; Pradhan, B.; Alamri, A.M. Forecasting of Landslides Using Rainfall Severity and Soil Wetness: A Probabilistic Approach for Darjeeling Himalayas. Water 2020, 12, 804. [Електронний ресурс] / Режим доступу <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/804>

103. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / [Л.М. Климчук, П.В. Блінов, В.Ф. Величко та ін.]. – К.: ВПЦ “Експрес”, 2008. - 265 с.

104. Екологічна безпека техноприродних систем (наукові і методичні основи): наукова монографія (Г.І. Рудько, С.В. Гошовський) / За ред. Г.І.Рудька – К.: ЗАТ “Нічлава”. 2006. - 456 с., ілюстр.).

105. Цысь П.М. Схема геоморфологического районирования Западных областей Украинской ССР // Географический сборник. – 1951. Т.18. Вып.1.- С.11-62.

106. Природа Чернівецької області / За ред. К. І. Геренчука - Львів: Вища школа, 1978. - 157 с.

107. Природа Закарпатської області / За ред. К.І. Геренчука. — Львів: Вища школа, 1981. — 156 с.

108. Узагальнення матеріалів інженерно-геологічного довивчення території України з метою підготовки геологічного забезпечення

протизсувних заходів та УІАС НС на державному рівні. Звіт про науково-дослідну роботу – ДНВП “Геоінформ України”, 2009. - 284 с.

109. Гошовський С.В., Рудько Г.І., Преснер Б.М. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів – К.: ЗАТ “НІЧЛАВА”, 2002. – 624 с.

110. Рудько Г.І., Шкіца Л.Є., Шута Р.З. Концепція регіонального прогнозування зсувів та селів Карпатського регіону України // Екологія та техногенна безпека. - № 3 (4), 2002. – С.197 – 200.

111. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. – К.: ДП Агентство “Чорнобильінформ”, 2009. – 230 с.

112. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році – К. ДП Агентство “Чорнобильінформ”, 2011. – 216 с.

113. Опади в регіонах України: карта, кількість та характеристики 2020 року. [Електронний ресурс]. / Режим доступу –

<https://kurkul.com/spetsproekty/826-opadi-v-regionah-ukrayini-karta-kilkist-ta-harakteristiki-2020-roku>

114. На Закарпатті через паводок обмежено рух на автодорозі державного значення. [Електронний ресурс]. / Режим доступу –

<https://www.unian.ua/pogoda/news/novini-zakarpattya-naslidki-pavodku-na-zakarpatti-sinoptik-11048066.html>

115. Кларк С. мл. Справочник физических констант горных пород. Москва: Мир, 1969. 543 с.

116. Нечаєва Т. С., Шимків Л. М., Єнтін В. А. Схема гравітаційного поля України. Київ: ПДРГП “Північукргеологія”. 2002.

117. Нечаєва Т. С., Гаркавко В. М., Шимків Л. М., Єнтін В. А.. Карта аномального магнітного поля України. Київ: ПДРГП “Північукргеологія”. 2002.

118. Анікеєв С. Г., Максимчук В. Ю., Пилип'як М. М. Гравімагнітна модель Коломийської палеодолини уздовж геотраверсу Надвірна-Отинія-Івано-Франківськ. *Геофизический журнал*. 2019. № 6, Т. 41, – С. 73 – 92.

119. Маєвський Б. Й., Анікеєв С. Г., Мончак Л. С. та ін. Новітні дослідження геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибоко-занурених горизонтів Українських Карпат Івано-Франківськ, 2012. 208 с.

120. Мончак Л. С., Анікеєв С. Г. Відображення тектонічної будови західного регіону України у гравімагнітних полях. *Геодинаміка*. 2017. № 2(23). С. 104-118.

121. Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші М-34-XXIX (Сніна), М-34-XXXV(Ужгород), L-34-V (Сату-Маре). (2003). К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, державне геологічне підприємство «Західукргеологія», 96 с.

122. Ярг Л. А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. Москва: Недра, 1974. 140 с.

123. Михайлов В. А. Основи геотектоніки: навч. посіб. Київ.Видавничополіграфічний центр “Київський університет”, 2002. 168 с.

124. Шерман С. И., Борняков С. А., Буддо В. Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1983. 110 с.

125. Guiju Wu, Hongbo Tan, Zhegbo Zou, Guangliang Yang, Chongyang Shen. Gravity distribution characteristics and their relationship with the distribution of earthquakes and tectonic units in the North–South seismic belt, China. *Geodesy and Geodynamics*. 2015. Vol. 6, P. 194-202. URL <https://doi.org/10.1016/j.geog.2014.12.008>

126. Castro, D., Bezerra, F., Sousa, M., Fuck, R. Influence of Neoproterozoic tectonic fabric on the origin of the Potiguar Basin, northeastern Brazil and its links with West Africa based on gravity and magnetic data. *Journal of Geodynamics*, 2012. Vol. 54, P. 29-42. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264370711001013>

127. Nurwidyanto M. I., Yulianto T., Widada S. Modeling of semarang fault zone using gravity method. Journal of Physics Conference Series, 2019. URL <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1217/1/012031/pdf>

128. Sungchan Choi, In-Chang Ryu, Young-Cheol Lee, Yujin Son. Gravity and magnetic field interpretation to detect deep buried paleobasinal fault lines contributing to intraplate earthquakes: a case study from Pohang Basin, SE Korea. Geophysical Journal International, 2020. Vol. 220, Issue 1, January 2020, P. 490-500. URL <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GeoJI.220..490C/abstract>

129. Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Геодинаміка, тектоніка та сейсмічність Карпатського регіону України. Геодинаміка. 2013. № 2 С. 247-249.

130. Максимчук В. Ю., Пиріжок Н. Б., Пронишин Р. С., Тимощук В. Р. Деякі особливості сейсмічності Закарпаття. Геодинаміка. 2014. № 2. С. 139-149.

131. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат / Под ред. К.Я. Кондратьева, В.Ф. Логинова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 319 с.

132. Чижевский А.П. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1976. – 368 с.

133. Лурсманашвили О.В. О периодичности сильных землетрясений Кавказа // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1973, - № 2. - С. 80-86.

134. Хаин В.Е. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа / В.Е. Хаин, Э.Н. Халилов - М.: Научный мир, 2009. - 520 с.

135. Хаин В.Е. О возможном влиянии солнечной активности на сейсмическую и вулканическую активность: долгосрочный прогноз / В.Е. Хаин, Э.Н. Халилов [Электронный ресурс] / Режим доступа: – <http://www.khalilov.biz/pdf/0%20vliyanii%20solnecnoy%20aktivnosti.pdf>

136. Назаревич Л. Є. Зв'язок землетрусів Карпатського регіону України та прилеглих територій із сонячною активністю / Л.Є. Назаревич, О.В. Кендзера, А.В. Назаревич // Геоінформатика . — 2011. — N2. — С. 61-67.

137. Назаревич Л. Є. Сейсмічність і деякі особливості сейсмодіагностики Українських Карпат/ Л. Є. Назаревич, А. В. Назаревич // Геодинаміка. – 2012. – № 1(12). – С. 145-151.

138. Соболев Г.А., Шестопапов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. – 1998. – №7. – С.85–90.

139. Сытинский А.О. О связи землетрясений с солнечной активностью // Изв. АН СССР. Физ. Земли. – 1986. – №2. – С.13–30.

140. Шестопапов И.П., Харин Е.П. О связи сейсмичности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // Сб. Докладов III Междунар. совещания „Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений”. – с. Паратунья Камчатской обл.: Ин-т космофизических исслед. и распространений радиоволн ДВО РАН. – 2004.

141. Колесник С.В. Общие географические закономерности Земли. М.: Наука, 1970. - 306 с.

142. Константиновская Л.В. Космические причины некоторых геологических процессов: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук: 04.00.01 / Л.В. Константиновская. – Москва, 1998. – 19 с. – Библиогр.: с. 19.

143. Марчук Г. И., Каган Б. А. Динамика океанских приливов. Л.: Гидрометеиздат, 1983, с. 14.

144. Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Космос-Земля. Прогнозы. – М.: Мысль, 1974. - 288 с.

145. Литинский И.Б. Предвестники подземных бурь. – М.: Просвещение, 1988. - 191 с.

146. Комков Н.А. Ритмы влияния Луны и Солнца на погоду. // Солнце, электричество, жизнь. – М., 1972. С. 37-39.

147. Мельник А.В., Шубер П.М., Шушняк В.М., Костів Л.Я., Березяк В.В. Фізико-географічні передумови, динаміка та наслідки катастрофічного

липневого паводка 2008 року у верхів'ї річки Прут // Вісник Львів. ун-ту. Серія геогр. 2009. Вип. 37. С. 136 – 151.

148. Ковальчук І.П. Гідрологогеоморфологічні процеси в Карпатському регіоні України // Праці НТШ том XI. Екологічний збірник –3. Екологічні проблеми Карпатського регіону. –Львів, 2003–С. 101–125.

149. Шубер П., Березяк В. Аналіз гідрометеорологічних процесів ріки Прут у ландшафтно-моніторингових дослідженнях Карпатського національного природного парку. Історія української географії. Всеукраїнський науково-теоретичний часопис.– Тернопіль, 2010. - Випуск 21.– с.71-82 С.

150. Клапоущак О. І. Забезпечення екологічної безпеки довкілля шляхом моніторингу рівня паводкових вод: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / Клапоущак О. І.; ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2015. – 20 с. : рис.

151. Spurek M. Historical catalogue of slide phenomena. – Satud.geogr., N 19, 1972. P.5 – 178.

152. Адушкин В. В. Эффекты лунно-солнечного прилива в земной коре и атмосфере Земли / В. В. Адушкин, А. С. Рябова, А. А. Спивак // Физика Земли. – 2017. – № 4, – С. 76-92.

153. Рубан С.А., Ніколішина А.В. Грунтові води України. ДВ УкрДГРІ, Дніпропетровськ, 2005, 426 с.

154. Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г. Некоторые аспекты сейсмического климата и погоды в Закарпатье // Изв. АН СССР. Физика Земли. –1982. – № 10. – С. 74-81.

155. Назаревич Л. Є. Сейсмогеодинамічна активізація нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину (Долина, Надвірна, Борислав) Л. Є. Назаревич, А. В. Назаревич // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – Київ, 2018. - № 2. – С. 36-42.

156. Інженерний захист та освоєння територій. Довідник / За ред. В.С. Ніщука. – Київ: Основа, 2000. – 344 с.



157. Зведений регіональний прогноз можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області протягом 1999–2010 рр.: Звіт про науково–дослідну роботу / Климчук Л.В., Красноок Л.М., Лескова Г.В. та ін. – Київ: ДІГФ „Геоінформ”, 1999. – 38 с.

158. Особенности временного прогнозирования оползневой активности с учетом сейсмических чинников (на примере Предкарпатья) / Э.Д. Кузьменко, О.М. Карпенко, Р.И. Таранова, И.В. Чепурный // Геоінформатика. – 2005. – № 4. – С. 54-63.

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

160. Харламова Н.Ф. Современные изменения климата внутриконтинентальных районов России // Научный журнал “Известия АГУ”, - 2006.- №3 (41). - С.47-52.

161. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – 624 с.

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

163. Прогнозування та попередження зсувів на гірських трасах газопроводів / Є.І. Крижанівський, В.П. Рудко, В.М. Саломатін, Л.Є. Шкіца // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: держ. міжвід. наук.-техн. зб. / Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2004. – № 3. – С. 5-9.

164. Кузьменко Э.Д., Крыжанивский Е.И., Пронишин Р.С., Карпенко А.Н., Чепурный И.В. О цикличности карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью // Геофизический журнал – 2007. - № 4. – С. 56-66.

165. Каталог Карпатських землетрусів № 9-11 (12-14) за 1963-1965 рр., № 12-13 (15-16) за 1966-1967 рр., № 14-15 (17-18) за 1968-1969 рр. – Київ: Наук. Думка, 1964, 1968, 1970, 1975. – 120 с., 96 с., 108 с., 56 с.

166. Сейсмологический бюллетень западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым – Карпаты за 1975-1976, 1977, 1978-1979, 1980, 1981-1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991. – 164 с., 104 с., 160 с., 116 с., 192 с., 112 с., 216 с., 124 с., 140 с., 94 с.

167. Сейсмологический бюллетень Украины за 1992–2013 гг. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 1995–2014.

168. Головний центр спеціального контролю. [Електронний ресурс]. / Режим доступу – <https://gcsk.gov.ua/monitoring-ukraini.html>

169. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л: Недра, 1977. – 479 с.

170. Ерыш И.Ф., Саломатин В.Н. Оползни Крыма. Ч. 1. История отечественного оползневедения. – Симферополь: Апостроф, 1999. – 249 с.

171. О методике прогнозной оценки активизации оползней в соответствии с крутизной склонов / Э.Д. Кузьменко, Л.Н. Климчук, А.Н. Карпенко, Е.П. Вдовина // Динаміка наукових досліджень: Географія та геологія: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.: Т. 9. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2002. – С. 17-18.

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

173. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. - Учебник. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 228 с.

174. Кузьменко Е.Д., Крижанівський Є.І., Карпенко О.М., Журавель О.М. Прогноз розвитку зсувних процесів як чинник забезпечення надійної

експлуатації трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. - № 4 (17). – С. 24-35.

175. Іванік О. М. Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем: автореф. дис. д-ра геол. наук: 04.00.05 / Іванік Олена Михайлівна; Київ. нац. ун-т імені Т. Шевченка. – К., 2010. – 40 с.

176. Розвиток схилових гравітаційних процесів в Закарпатті у відповідності до тектонічної будови регіону / Г.І. Рудько, В.Д. Чебан, Е.Д. Кузьменко, М.В. Петрик // Геологічний журнал. – 2002. – №2. – С. 66- 72

177. Гошовський С.В. Інженерно-геологічний аналіз, моніторинг та захист територій від зсувів / С.В. Гошовський, Г.І. Рудько, П.В. Блінов. – Л.: ЗУГЦ, 2004. – 152 с.

178. Кузьменко Э.Д. Сейсмическая активность как фактор активизации оползней в Карпатах / Э.Д. Кузьменко, А.Н. Карпенко, Р.С. Пронишин // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали V Міжнар. наук. конф. – К.: ВПЦ "Київський нац. ун-т", 2004. – С. 92-93.

179. Особенности временного прогнозирования оползневой активности с учетом сейсмических факторов (на примере Предкарпатья) / Э.Д. Кузьменко, О.М. Карпенко, Р.И. Таранова, И.В. Чепурный // Геоінформатика. – 2005. – № 4. – С. 54-63.

180. Пат. 2344227 С2 Российская федерация. МПК Е 02 Д 1/00. Способ прогноза возникновения или активизации оползней / Крыжанивский Е.И., Кузьменко Э.Д., Карпенко А.Н.: заявитель и патентообладатель Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. – заявл. 10.01.2007; опубл. 20.01.2009. Бюл. №2. – 17 с.

181. Закономірний зв'язок між величинами ймовірностей виникнення зсувів та зсувної небезпеки при комплексному впливі природно-техногенних чинників (теоретичні засади та система прогнозування) / Е.Д. Кузьменко, Є.І. Крижанівський, О.М. Карпенко, О.М. Журавель // Екологічні

проблеми нафтогазового комплексу: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф.: Закарпатська обл., 26 лют.-2 бер. 2007 р. – К.: НПЦ "Екологія. Наука. Техніка", 2007. – С. 71-74.

182. Кузьменко Э. Д. Способ пространственно-временного прогнозирования оползневых процессов / Э.Д. Кузьменко // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: Міжнар. наук.-практ. конф., Алушта, 10-14 верес. 2007 р.: зб. наук. статей. Т. 1. – Харків: Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, 2007. – С. 93-95.

183. Кузьменко Э.Д. Универсальный алгоритм прогнозирования экзогенных геологических процессов / Э.Д. Кузьменко // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VIII Міжнар. наук. конф. – К., 2007. – С. 16-17.

184. Інфоматеріали\_ДСНС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/35969.pdf>

185. Закон України “Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року” від 28.02.2019 № № 2697-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19/card3#Files>

186. Іванюта С. П. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків: монографія / С. П. Іванюта, А. Б. Качинський. – К. : НІСД, 2012. – 308 с.

187. Касіянчук Д. В. Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних геологічних процесів Карпатського регіону: автореф. дис. ... канд. геол. наук: 21.06.01 / Д. В. Касіянчук; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2016. - 20 с.

188. Бондар М. О. Оцінювання ризиків небезпечних геологічних процесів / М. О. Бондар // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2015 (92). – С. 123-128.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ****Монографія (розділи в монографії):**

1. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: колективна монографія. За ред. проф. Е.Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 294 с. (Розділ 5: Комплексна інтегрована кількісна інтерпретація геолого-геофізичних даних. Автори: Кузьменко Е.Д., Вдовина О.П., Крив'юк І.В., **Штогрин Л.В.**); (Розділ 6: Апробація методики комплексних геолого-геофізичних досліджень зсувонебезпечних схилів. Автори: Кузьменко Е.Д., Вдовина О.П., Крив'юк І.В., **Штогрин Л.В.**).

2. Прогнозування зсувів: колективна монографія. За ред. проф. Е.Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 601с. (Розділ 6: Районування території Карпат за окремими чинниками зсувної небезпеки. Автори: Вдовина О.П., Карпенко О.М., Климчук Л.М., Красноок Л.М., Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., **Штогрин Л.В.**); (Розділ 10: Середньострокове прогнозування зсувів за опадами. Автори: Вдовина О.П., Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.**).

**Статті у закордонних та фахових виданнях України, які****включені до міжнародних наукометричних баз:**

3. Кузьменко Е.Д., Блінов П.В., Климчук Л.М., Карпенко О.М., Петрик М.В., **Штогрин Л.В.** Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 1. С. 74-83.

4. Гошовский С.В., Кузьменко Э.Д., Блинов П.В., Карпенко А.Н., **Штогрин Л.В.** Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе:  
1. Пространственное распределение оползней. Ритмичность как теоретическая основа временного прогнозирования. *Журнал*

“*Геоінформатика*”. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 2. С. 40-49.

5. Гошовский С.В., Кузьменко Э.Д., Блинов П.В., Карпенко А.Н., **Штогрин Л.В.** Долгосрочный прогноз оползней в Закарпатском регионе: 2. Временной прогноз. Обоснование периода последующей массовой активизации. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2004. № 3. С. 64-72.

6. **Штогрин Л.В.** Результати застосування методу порівняльної оцінки стійкості схилів у Закарпатському регіоні та визначення деяких прогнозних параметрів. *Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2004. № 3 (12). С. 66-71.

7. Кузьменко Е.Д., Лящук Д.Н., Чебан В.Д., **Штогрин Л.В.** Обґрунтування вибору геофізичних, геологічних та геоморфологічних параметрів для оцінки зсувонебезпеки і методика їх комплексної інтерпретації. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: збірник наукових праць*. Київ, 2005. С. 333-349.

8. Кузьменко Е.Д., Журавель О.М., Чепурна Т.Б., Чепурний І.В., **Штогрин Л.В.** Прогнозування екзогенних геологічних процесів Частина 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. Закономірності активізації зсувів. *Журнал “Геоінформатика”*. Київ: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України, 2011. № 3. С.61-74.

9. Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В., Нікіташ О.О., **Штогрин Л.В.** Довгострокове прогнозування зсувних процесів на території Правобережжя Київського водосховища. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2012. № 1(12). С.93-102.

10. Кузьменко Е.Д., Крив’юк І.В., **Штогрин Л.В.** Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів. *Науковий*

журнал “Геодинаміка”. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2013. № 1(14). С. 176–187.

11. Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.**, Чепурний І.В. Аналіз впливу геологічної будови гірських порід на характеристики зсувів. *Науковий журнал “Геодинаміка”*. Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2014. № 2(17). С. 112-124.

12. **Штогрин Л.В.**, Касіяничук Д.В. Про можливий зв'язок між періодичністю опадів, активізацією зсувів та фазами Місяця. *Науковий журнал “Збірник наукових праць УкрДГРІ”*, Київ: УкрДГРІ, 2015. № 4, С. 93-102.

13. L. Davybida, D. Kasiyanchuk, **L. Shtohryn**, E. Kuzmenko, M. Tymkiv. Hydrogeological Conditions and Natural Factors Forming the Regime of Groundwater Levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*. – Польща, Варшава, Issue 19(6), 2018.– pp. 34-44.

14. **Shtohryn L.**, Kasiyanchuk D., Kuzmenko E. The problem of long-term prediction of landslide processes with in the Transcarpatian inner depression of the Carpathian region of Ukraine. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2020, Vol. 15, No.1, p. 157 – 166.

#### **Інші публікації за темою дисертації у наукових фахових виданнях**

##### **України:**

15. Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.** Про необхідність комплексного використання часових чинників при середньо- та довгостроковому прогнозуванні зсувних процесів. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*, Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. №2(28). С. 63-73.

#### **Тези та матеріали наукових конференцій, які додатково відображають наукові результати і засвідчують апробацію дисертації:**

16. Кузьменко Е.Д., Карпенко О.М., **Штогрин Л.В.**, Петрик М.В. До питання короткострокового прогнозу зсувів в Закарпатті. *Екологічні*

*проблеми нафтогазового комплексу: тези доповідей науково-практичної конференції.* Київ: Знання, 2004. С. 84-86.

17. Кузьменко Е.Д., **Штогрин Л.В.**, Крив'юк І.В., Гончарук А.П., Скороход Г.А. Просторовий прогноз ймовірності зсувонебезпеки на окремих ділянках південного берега Криму. *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VI міжнародної наукової конференції.* Київ: Вид-во Київського національного університету, 2005. С. 105-106.

18. **Штогрин Л.В.** Порівняльна характеристика карпатських зсувів. *Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології: матеріали XVII міжнародного науково-технічного симпозіуму, Алушта, 10-15 вересня 2012 р.* Львів: Львівське астрономо-геодезичне товариство, 2012. С. 95-101.

19. **Штогрин Л.В.** Застосування кластерного аналізу для оцінки просторового розподілу зсувів. Всеукраїнська науково-практична конференція “*Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П.Г.Черняги*”: збірник тез. Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2014. С. 218-219.

20. **Штогрин Л.В.**, Штогрин Т.М. Ураженість зсувами відповідно до тектонічного районування на прикладі Карпатського регіону. *Перспективи нарощування ресурсної бази нафтогазової енергетики: матеріали міжнародної науково-технічної конференції.* Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2016. С. 314-317.

21. Kasiyanchuk, D., **Shtohryn, L.**, Yazlovetska, N., Levitska, M. Methodology of time forecast of exogenous geological processes Methodology of time forecast of exogenous geological processes. [Електронний ресурс]: *17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects*, 14-17 May 2018, Kyiv.

22. Kuzmenko E., Cherpurna T., **Shtohryn L.**, Cherpurnyi I., Matvii Ye\*. On the issue of predicting the activation of EGP in the Transcarpathian region.



[Електронний ресурс]: *18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*, 13-16 May 2019, Kyiv.

23. **Л. Штогрин**. Застосування статистичних методів для прогнозування зсувних процесів [Текст]. Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення". Збірник тез доповідей: випуск 47 (м. Тернопіль, 8 квітня 2020 р.). Тернопіль. 2020. С. 57-58.

24. L. Davybida, D. Kasiyanchuk, **L. Shtohryn**. Spatial analysis of the relation between the distribution of dangerous exogenous geological processes and landscape hydrogeological complexes in Transcarpathian.[Електронний ресурс]: Onlineaccess: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2020/spatial-analysis-relation-between-distribution-dangerous-exogenous-geological>, *GeoTerrace* – 2020, 07-09 December 2020, Lviv.

25. **Л.В. Штогрин**, Д. В. Касіянчук. Оцінювання екологічного ризику площинної ураженості зсувами в межах інженерно-геологічних регіонів. [Текст]. Міжнародна науково-технічна конференція онлайн "Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази". Збірник тез доповідей: (м. Івано-Франківськ, 8-9 грудня 2020 р.). Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2020. С.166-167.

## Додаток Б



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газупроф. О. М. Мандрик14 травня 2021 р.

## АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження  
старшого викладача кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики  
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу  
Штогрин Людмили Василівни

Ми, що нижче підписалися, комісія у складі:

голова – гарант освітньо-професійної програми першого рівня вищої освіти «Геологія нафти і газу, геофізика, геоінформатика, інженерна геологія та гідрогеологія», завідувач кафедри загальної, інженерної геології та гідрогеології, д. геол. н., професор Хомин Володимир Романович;

члени комісії:

Омельченко Валерій Григорович, директор Інституту природничих наук і туризму (ІПНТ), к. геол. н., доцент;

Кузьменко Едуард Дмитрович, завідувач кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики (ГБГ), д. г.-м. н., професор,

склали цей акт про те, що результати наукових дисертаційних досліджень старшого викладача кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики ІФНТУНГ Штогрин Л. В. на тему: «Просторово-часові геофізичні та супутні чинники прогнозування зсувних процесів у Карпатському регіоні України» використовуються при викладанні дисциплін для студентів, що навчаються за освітньо-професійною програмою на здобуття ступеня бакалавр за спеціальністю 103 «Науки про Землю», а саме дисципліни «Комплексування геолого-геофізичних задач», «Основи екологічної геофізики та радіоекологія».

Голова комісії, гарант ОПП

Члени комісії:

Директор ІПНТ

Завідувач кафедри ГБГ

В. Р. Хомин

В. Г. Омельченко

Е. Д. Кузьменко