

1. Звіт «Розробка схеми розвитку системи водопостачання м. Києва за рахунок підземних вод на період до 2020 року». – К.: НЦ РПД НАН України, ГДРГ «Ліан-геологія» Держкомприроди України, 2004. 2. Пашков О.Є., Толуб В.П. Аналіз процесу підтоплення території Подолу із застосуванням геоінформаційної технології // Підтоплення – 2006: Матер. наук.-практ. Конф. – Слов'янськ, 2006. 3. Отчет «Составление гидродинамической прогнозной карты территории г. Киева». – К., 1983.

UDC 681.311.235.2

Надійшла до редколегії 08.03.08.

О. Іванік, канд. геол. наук

## ОЦІНКА ФАКТОРІВ ЗСУВОУТВОРЕННЯ У МЕЖАХ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ НА ОСНОВІ ГІС-АНАЛІЗУ

*Проаналізовано фактори формування зсувів у межах Карпатського полігону на основі ГІС-аналізу. Створено інформаційну базу концептуальної моделі Свалівського та Воловецького районів Закарпатської області із сукупністю картографічних шарів і баз атрибутивної інформації, із відповідною організацією даних щодо можливих факторів виникнення сучасних езогенних небезпечних геологічних процесів.*

*Factors of the landslide formation have been analyzed in Carpathian region with the using of GIS-analysis. The information base of the conceptual model of Svalyavskiy and Voloveckiy areas of Zakarpatskaya region with the cartography layers and attributes tables which was sorted according to the potential factors of the exogenic processes.*

**Вступ.** Територія Українських Карпат характеризується активним розвитком небезпечних геологічних процесів переважно езогенного генезису, серед яких одними з найбільш активних є гравітаційні та водно-гравітаційні процеси. На сьогодні прогноз розвитку цих явищ та визначення їх просторово-часових закономірностей є одним із найважливіших завдань, оскільки ці явища здійснюють значний вплив на функціонування техногенних об'єктів різного призначення та призводять до серйозних економічних збитків. Аналіз розвитку зсувних процесів проводиться у межах різних структурно-формаційних зон Карпатського полігону, кожна з яких характеризується особливим поєднанням та співробітництвом процесів зсувоутворення та відповідним виникненням зсувів різних типів. Визначення внеску кожного з факторів, що впливає на специфіку прояву водно-гравітаційних явищ, потребує детального геолого-геоморфологічного аналізу, вивчення гідрологічних та кліматичних особливостей території та особливостей будови зсувних тіл.

**Постановка проблеми.** Проблемам виникнення зсувів у межах Карпат присвячено значну кількість наукових праць [1-3; 7], головна увага у яких приділяється класифікаційним ознакам зсувів, їх морфометричним та морфологічним особливостям, оцінці їх негативного впливу на інфраструктуру певних районів, а також проведенню аналізу по визначенню стійкості зсувних схилів. На особливу увагу заслуговують публікації щодо кількісної характеристики факторів зсувоутворення та визначення їх вагового внеску у загальний складний процес формування зсувів, що мають не тільки методичний, але й регіональний аспект [9-10]. Однак постійна активізація зсувних процесів, певна нередобачуваність їх виникнення та значний вплив на функціонування техногенних об'єктів демонструють необхідність розробки методик, що дозволяють здійснювати прогноз розвитку зсувів у межах конкретних областей саме на місцевому та на локальному рівні.

Безумовно, розробка таких методик вимагає значного обсягу інформації про будову та особливості певної території, отримання якої можливе лише завдяки проведенню детальних польових досліджень у межах досліджуваного полігону та створення картографічних моделей для здійснення детального аналізу певних процесів.

**Характеристика району досліджень.** Дослідження, спрямовані на вивчення геолого-геоморфологічних та кліматичних умов виникнення водно-гравітаційних процесів, проводились на прикладі Карпатського модельного полігону [5, 6], що в адміністративному відношенні займає частину Свалівського та Воловецького районів Закарпатської області та має площу 804,3 км<sup>2</sup>.

З геологічної позиції район входить до складу Альпійської еоинкліналі (складчастої області), охоплює Дуклянську, Магурську та Порукляцьку структурно-фаціальні зони (Зовнішні Карпати), та Пенінську зону (Внутрішні Карпати) [8], що є одиницями-покривами регіонального простеження із мінливою конфігурацією та різномасштабним пересуванням.

У рельєфі району виділяється Воловецько-Міжгірська Верховина та Полонинський хребет (із відмітками до 1550 м). На півдні району спостерігаються райони передгір'я з абсолютними відмітками 350-450 м та густою ринковою сіткою. Між горами знаходиться Свалівська улоговина.

Вибір полігону диктувався особливими умовами розвитку природно-техногенних систем, особливостями їх розташування та динамічними особливостями функціонування, що обумовлюється наступними характеристиками.

Геоморфологічна будова полігону є типовою для прських областей із переважанням середньо- та низькогірного ерозійно-тектонічного та денудаційного рельєфу, значною густиною горизонтального розчленування (до 2,5 км/км<sup>2</sup>), глибокою вертикальною розчленування (до 120 м) та крутизною схилів (до 35-40°), що створює «енергію» для розвитку різноманітних езогенних процесів. Разом з тим він характеризується доволі доброю доступністю, що дає можливість детального вивчення особливостей геоморфологічної будови території та характеристик геоморфогенезу.

У межах даного полігону характерною є висока ступінь техногенного навантаження на геологічне середовище, що створює передумови для інтенсифікації небезпечних геологічних процесів та динамічного розвитку природно-техногенних систем. Високу концентрацію має сітка наземних та підземних комунікацій. Зокрема, у межах полігону проходить магістральна нитка Львівської та Південно-Західної залізниці Москва-Київ-Львів-Чоп, що характеризується значною регулярністю руху, високою швидкістю перевезень, великою пропускістю і провізністю та є однією з найбільш вантажнонапружених залізниць.

Значне поширення у межах району мають також магістральні автомобільні шляхи, зокрема автомобільний шлях міжнародного значення **Київ — Чоп**, що з'являється із частиною Європейського автомобільного маршруту Е50, а також автомобільні дороги місцевого значення.

Однією з функціональних природно-техногенних систем є сітка магістральних газу – та нафтопроводів, що характеризується складними умовами прокладання та відповідно проблемним характером експлуатації, періодичним виникненням катастрофічних ситуацій та аварій, зумовлених саме природними чинниками. Враховуючи

зручне географічне положення Закарпатської області, через її територію проходять магістральні газопроводи "Братерство", "Союз", "Прогрес", та "Уренгой-Помари-Ужгород". Складна газо- та нафтогазотранспортна система створює ефект додаткового навантаження на геологічне середовище, що знижує надійність роботи трубопроводів та призводить до складних екологічних наслідків.

Досліджуваний полігон характеризується значною привабливістю та рекреаційної точки зору. У його межах знаходиться велика кількість джерел мінеральних вод, наявність яких послугувала базою для побудови багатьох оздоровчих закладів. В цілому тут знаходиться близько 100 мінеральних джерел — майже третина з усіх відомих на Закарпатті. У зв'язку з цим виникнення будь-яких катастрофічних ситуацій із негативними наслідками погіршує рекреаційний потенціал цієї території і потребує обов'язкової розробки превентивних заходів щодо унеможливлення катастрофічного прояву небезпечних геологічних процесів.

Карпатський полігон характеризується активним розвитком та особливими умовами формування різноманітних еогеогенних процесів. У його межах зафіксовано понад 220 зсувів, 35 з яких відбулися або були активізовані у 1998 та 2001 роках унаслідок потужних паводків. Решта зсувів відбулися впродовж останніх 30-ти років і на даний час є стабілізованими. У результаті було пошкоджено та частково зруйновано будинки, господарські будівлі, автошляхи, мости, трубопроводи. Найбільші пошкодження будинків та автошляхів спостерігалися у населених пунктах Задільське, Пдлопоззя, Верхні Ворота, Воловець, Абранка Воловецького району та Солочин, Голубине, Поляна, Родниківва Гута Свалявського району.

Таким чином, обраний для досліджень Карпатський полігон характеризується особливими геологічними, геоморфологічними, кліматичними умовами, поєднання яких із функціонуванням техногенного комплексу території створює ідеальний модельний район для з'ясування особливостей функціонування природно-техногенних систем, їх динаміки, а також для оцінки впливу небезпечних геологічних процесів на інженерні споруди різного призначення. Доступність і порівняно добра відслоненість гірських порід у межах даної території дозволили провести детальні літолого-стратиграфічні, структурно-тектонічні та інші спеціалізовані дослідження, спрямовані саме на з'ясування факторів виникнення небезпечних геологічних процесів. Крім того, дослідження будови цього полігону створює передумови для перевірки адекватності розроблених геолого-фізичних та математичних моделей впливу негативних геологічних явищ на техногенні споруди.

**Аналіз умов формування водно-гравітаційних процесів.** Загальний аналіз просторово-часових закономірностей водно-гравітаційних та гравітаційних процесів у межах Закарпатської області підтверджує багатofакторний характер їх формування, однак на перший план виходять питання пріоритетності дії кожного з факторів, а також їх взаємозалежність у певних умовах із різною комбінацією літолого-стратиграфічних умов території, тектонічними процесами, геоморфологічною будовою, гідрогеологічною ситуацією тощо.

Для вивчення характеру формування та поширення зсувів необхідним є дослідження їх різноманітних характеристик, що стосуються як морфометричних параметрів зсувів, так і умов їх формування. Виконання цього завдання забезпечується ГІС-технологіями, що передбачають автоматизоване управління різномасштабними електронними картографічними ресурсами (навігація між масштабами), отримання сукупості інформації як про природний, так і картографічний об'єкт, пошук об'єктів на картографічних матеріалах за їх атрибутивними критеріями та картографічно-технологічними властивостями. Використано програмні можливості продукту ArcGIS 9.1 фірми ESRI та спеціалізованих модулів.

Для цього створено атрибутивну таблицю зсувів із зазначенням їх форми, ширини, довжини, об'єму зсувних мас, площі поширення, характеристик зсувних схилів, дати їх виникнення тощо (табл. 1).

**Таблиця 1.** Атрибутивна таблиця параметрів зсувів у межах Свалявського та Воловецького районів Закарпатської області

Attributes of zsuvu										
FID	Shape	Id	length	area	descr	slope	forma	deforce_roc	age_of_r	wide
0	Point	0	0	0	0 Правий берег стр Якоризувати	0				0
1	Point	8	100	800	с.Палена стр Гайбосий правий б	15	вищупа	Дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		20
2	Point	7	500	400	с.Палена, стр Гайбосий лівий б	10	нерівна, ступінчаста	Дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		20
3	Point	10	1500	720	с.Палена, пасажна околиця, лів	15	вищупа	Дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		60
4	Point	4	30	3000	с.Гадубине, лівий берег р.Пань, н	60	Береговий обрив	Дислокаційні четвертинні валяла ч Q		150
5	Point	5	30	1200	с.Гадубине, на злитті стр Гучал	60	Береговий обрив	Дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		30
6	Point	6	30	400	с.Гадубине, лівий берег р.Пань,	60	Береговий обрив	Дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		40
7	Point	9	700	320	с.Ціликівка пасажна околиця, лівий	20	вищупа	Дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		30
8	Point	2030	20	1200	с.Якочинце правий берег річки	25	вищупа	дислокаційні четвертинні валяла dQ		60
9	Point	2031	100	10000	с.Якочинце правий берег річки	20	вищупа	дислокаційні четвертинні валяла [d Q]		100
10	Point	2016	40	1600	с.Орша нагорний фел лівий берег	30	ричка	дислокаційні четвертинні валяла d Q		40
11	Point	17	300	2400		30				60
12	Point	2018	30	2400	с.Орша лівий берег стр.раса.вад.	35	гарибаста	дислокаційні четвертинні валяла Q		80
13	Point	2019	20	400	с.Орша впаде бунячиз 300	35	гарибаста	дислокаційні четвертинні валяла Q		20
14	Point	2020	10	100	с.Орша правий берег стр.красна.	20	гарибаста	дислокаційні четвертинні валяла Q		10
15	Point	2021	150	7500	с.Орша правий берег стр.красна	25	гарибаста	дислокаційні четвертинні валяла Q		50
16	Point	1008	20	0	с.Абранка, лівий борт р.Абранк	20	обрив	дислокаційні	Q	25
17	Point	1008	30	60	с.Абранка, лівий борт р.Абранк	70	Береговий обрив	дислокаційні четвертинні валяла Q		6
18	Point	1010	20	36	с.Абранка, лівий борт р.Абранк	80	Береговий обрив	дислокаційні	Q	6
19	Point	1011	10	85	с.Абранка, лівий борт р.Абранк	85	Береговий обрив	дислокаційні	Q	10
20	Point	1012	30	150	с.Абранка, лівий борт р.Абранк	70	нерівна ступінчаста	дислокаційні	Q	15
21	Point	1013	10	20	с.Верхні Ворота, правий борт по	80	Береговий обрив	дислокаційні	Q	4
22	Point	1014	30	150	с.Верхні Ворота, правий берег по	80	нерівна ступінчаста	дислокаційні	Q	30
23	Point	1007	100	3000	с.Каньора, правий берег стр.Ка	30	ступінчаста	дислокаційні	Q	100
24	Point	1006	500	300	н. Воловець, правий берег р.Вч	60	вищупа ступінчаста	дислокаційні	Q	10
25	Point	1009	0	15	с.Задільське, правий берег стр	0		дислокаційні	Q	3

Для оцінки впливу та детального аналізу просторово-часових закономірностей відкладів створено реляційну гео-базу даних (geol.mdb), у якій було систематизовано інформацію щодо вивчення можливих факторів зсувоутворення. Дана база даних містила класи наступних видів: об'єкти, просторових об'єктів та відношень, а також атрибутивні домени.

При аналізі просторового розподілу зсувів враховувались наступні фактори.

1. Літологічна характеристика порід. Для цього проведено векторизацію геологічної карти із виділенням полігональних об'єктів певного літологічного тилу. Ці тили характеризували переважно різні види флішодічних утворень, а також вулканічні комплекси порід. На основі просторового аналізу та зональної статистики засобами модуля Spatial Analyst визначено приуроченість зсувів до певних літологічних комплексів: їх переважна кількість спостережена у флішових відкладах, представлених чергуванням аргілітів і мергелів (18), а також до товщ, представлених переважно пісковиками (9). Значна кількість зсувів проявлена у тубофрекцях і туфах середнього складу.

2. Вікова характеристика порід та приналежність до певного стратиграфічного підрозділу. Для цього також проведено векторизацію геологічної карти із виділенням полігональних об'єктів, що належать до певного стратиграфічного підрозділу. Значна кількість зсувів простежується у відкладах чорноголовської світи ( $K_2$ - $P_2$ -ch), виділеної згідно зі стратотипом на в.св. Чорногорова-1.

Нижня підвіта чорноголовської світи ( $K_2$ -ch<sub>1</sub>) (верхньобережанська) представлена перешаруванням середньорізнозернистих сірих слюдистих валністих пісковиків, аргілітів, алевролітів та грубим і середньоритмічним перешаруванням темно-сірих аргілітів, алевролітів, сірих різнозернистих пісковиків з перерогліфами. Верхня підвіта чорноголовської світи ( $P_1$ -ch<sub>2</sub>) (лютьська) представлена грубошаруватим середньо-грубозернистими пісковиками сірими, слюдистими з прожарками дрібнозернистими та грубим перешаруванням різнозернистих слюдистих пісковиків (1-4 м) з пакетами (до 2 м) грубого срого глинисто-піщаного флішу. Загальна потужність чорноголовської світи становить 1600-2000 м [3]. Певна частина зсувів приурочена також до дусинської, турьцької та маловиженської світи олігоцену.

Завдяки кількісним показникам коефіцієнту ураженості є можливість ранкування окремих ділянок за ступенем ураженості зсувами.

3. Відстань до тектонічних розломів. Цей фактор визначає роль структурно-деструктивних процесів у формуванні зсувів. Для визначення цього параметру застосовано функцію відстаней модуля Spatial Analyst та побудовано відповідну карту, аналіз якої допоміг встановити приуроченість зсувів до певних тектонічних зон та підтвердив їх просторову близькість. Дана обставина доведена також шляхом проведення детальних польових досліджень у межах ключових ділянок у сс. Поляна, Голубине та Задільське [5]. Обстеження сучасних та давніх стабілізованих зсувів довело вагомую роль у їх утворенні деструктивних тектонічних процесів, значення яких обговорюється при визначенні закономірностей структурно-тектонічної позиції ділянок активізації небезпечних геологічних явищ.

4. Крутизна схилів. Для визначення цього параметру використано модуль 3D Analyst та побудовано карту кутів нахилу земної поверхні у межах дослідженого регіону. На основі проведеного аналізу визначено, що більшість зсувів відбуваються на схилах крутизою 13-20° і цей параметр є одним із визначаючих для їх формування.

5. Експозиція схилів. Для визначення цього параметру також використано модуль 3D Analyst та побудовано карту експозиції схилів у межах дослідженого регіону. Визначено, що переважна кількість зсувів приурочена до схилів південної експозиції, що певною мірою пов'язано із характером задернованості та потенційними умовами зсувобезпеки схилів, не покритих рослинністю.

6. Абсолютна відмітка місцезоналення зсуву. Даний параметр визначався на основі аналізу карти рельєфу, отриманої унаслідок векторизації топографічної карти та побудови цифрової моделі рельєфу. Дана цифрова модель рельєфу використана також для побудови вищезазначених карт крутизни схилів та їх експозиції.

7. Генетичний тип четвертинних відкладів. Для аналізу цього фактору виконано векторизацію карти четвертинних відкладів та проведено статистичні обрахунки щодо виникнення зсувних процесів у межах певного генетичного типу відкладів. Переважна частина зсувів приурочена до колювіальних відкладів та до давніх пролювіальних утворень.

8. Потужність четвертинних відкладів. На основі аналізу свердловин у межах дослідженого полігону побудовано карту потужностей четвертинних відкладів, що дозволила визначити просторовий розподіл даного параметру у межах полігону. Потужність четвертинного покриття змінюється від 0 до 20 метрів. Зсуви приурочені до ділянок із потужністю від 8.1 до 12 м.

9. Середньорічна кількість опадів. Для аналізу цього параметру векторизовано карту середньорічної кількості опадів Закарпатської області та використано дані Гідрометцентру щодо кількості опадів у межах метеорологічних станцій. У межах дослідженого полігону цей параметр змінюється від 800 до 1300 мм та є одним із головних зсувоутворюючих факторів.

На основі картографічного моделювання, що має на меті визначення місця розташування або ступеню придатності об'єктів місцевості відповідно до певної концепції оцінки територій, створено засади для створення концептуальної моделі Карпатського полігону. Для виявлення ділянок з певними властивостями або визначення ступеня придатності територій, складено багатомірну модель, у якій різні характеристики об'єктів відповідним чином розміщено у різних шарах ГС. Об'єкти оцінюються відносно їх відповідності заданим умовам, а потім комбінуються для створення загальної карти придатності, що враховує усі розглянуті фактори для кожного місця розташування.

**Висновки.** Таким чином, на основі ГС-аналізу та статистичних методів обрахунків проаналізовано вплив різних факторів на формування зсувів. Створено інформаційну базу концептуальної моделі Свалявського та Воловецького районів Закарпатської області із сукупністю картографічних шарів і баз атрибутивної інформації, із відповідною організацією даних щодо можливих факторів виникнення сучасних езогенних небезпечних геологічних процесів. З'ясовано просторово-часові закономірності водно-гравітаційних та гравітаційних процесів у межах Закарпатської області, що підтверджує багатфакторний характер їх формування.

1. Адемюк О.М., Рудько Г.И. Основы эволюционной геологии (на примере эволюционно-динамических процессов Карпатского региона Украины). – Киев, 1995. 2. Вазир І.Д., Білий П.В., Галаж Л.Ф., Козимілий В.П. Активізація небезпечних геологічних явищ у Закарпатті як наслідок екстремальних паводків. – К.: ІГН НАНУ, 2004. 3. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, арешти М-34-XXIX (Сніна), М-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Сату-Маре). – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, держ. геологічне підприємство "Західукргеолюда", 2003. 4. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Маловижен В.Ю., Кузнєцова В.Г., Варбидький Т.З. та ін. – К., 2005. 5. Іванюк О.М. Структурно-тектонічний контроль розвитку водно-гравітаційних процесів у межах Свалявського та Воловецького районів Закарпатської області // Геол. журн. – 2007. – №3. 6. Іва-

