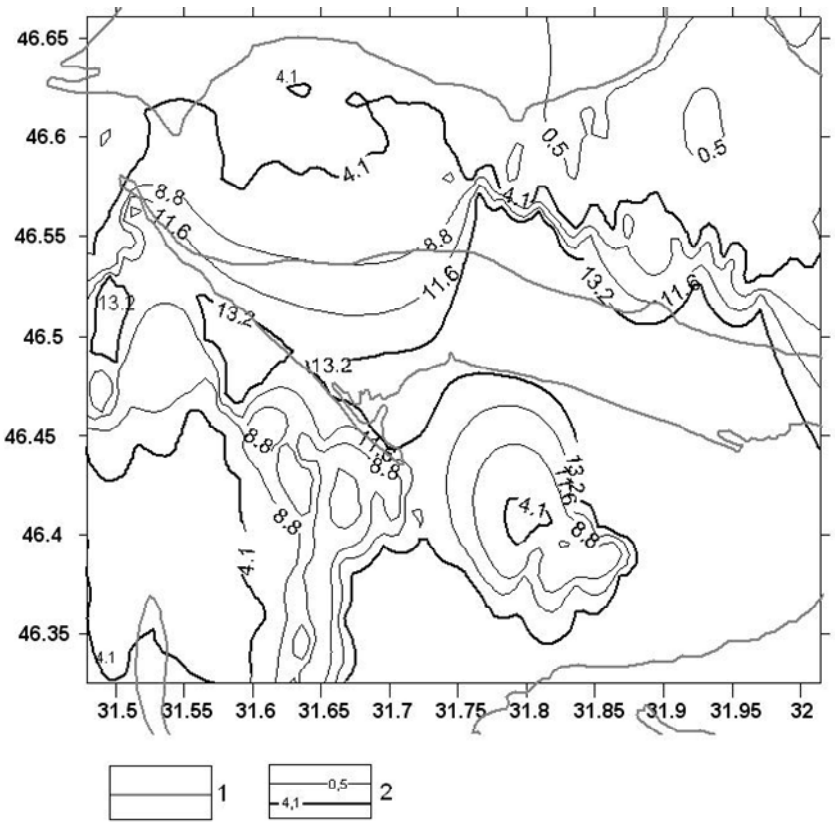

Рис. 2. Карта гідравлічної розмірності.
1 – берегова лінія; 2 – ізолінії зі значеннями гідравлічної розмірності

Висновки: 1. побудована карта гідравлічної розмірності, як складова частина більш загальної моделі осадконакопичення відповідає реальному розподілу донних відкладів у межах розглянутої ділянки. 2. на карті гідравлічної розмірності знаходить своє відображення уздовж береговий потік наносів у дистальній частині Кінбурнської коси. 3. величина гідравлічної розмірності несе в собі інформацію про умови переміщення і диференціацію осадового матеріалу, тобто відображає умови осадконакопичення.

1. *Бутузова Г.Ю., Градусов Б.П., Ратеев М.А.* Глинистые минералы и их распределение в верхнем слое осадков Черного моря // Литология и полезные ископаемые. 1975, № 1, С.3-11. 2. Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые / Гл. ред. *Шнюков Е.Ф.*, 1983. 3. *Гожик П.Ф.*, Регрессивные этапы в позднекайнозойской истории Черного моря и их отражение в гидросети // Изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования Черного и Балтийского морей, часть 1, 1984. 4. Динамика русловых потоков и литодинамика прибрежной зоны моря. 1994. 5. Днепровско-Бугская эстуарная экосистема, 1989. 6. История геологического развития континентальной окраины западной части Черного моря. 1988. 7. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья, 1988. 8. Осадконакопление на континентальной окраине Черного моря, 1978. 9. *Шуйский Ю.Д.* Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в северо-западной части Черного моря, 1989.

Надійшла до редколегії 02.06.08

УДК 551.44

І. Чепурний, асп.

ПРОСТОРОВА ЗАКОНОМІРНІСТЬ РОЗВИТКУ КАРБОНАТНОГО ТА СУЛЬФАТНОГО ПОВЕРХНЕВОГО КАРСТУ В ПЕРЕДКАРПАТТІ

Досліджено закономірність просторового поширення поверхневих карстових процесів в Передкарпатті. Статистичними методами визначено основні карстоініціюючі чинники. Розраховано інтегральний показник імовірності проявів поверхневого карсту, що дає можливість здійснювати просторовий прогноз ураженості території карстом.

It is researched law of spatial distribution of surface karstic processes in Subcarpathian area. By statistical methods it is certain major factors of karstic process. It is calculated an integrated parameter of probability of display of a superficial karst that enables to carry out the spatial forecast of defeat of territory a karst.

Територія України в значній мірі уражена карстовими процесами. Ділянки, що уражені карстом, займають значну площу і щороку збільшуються, завдаючи значних збитків. Зокрема, в Україні зареєстровано більше 26000 поверхневих та підземних карстопроявів [5]. Основні регіони розвитку карсту – це Автономна республіка Крим (уражено 34,86 % території), Львівська (19,33 %), Тернопільська (9,36 %), Чернігівська (8,76 %), Івано-Франківська (7,87 %), Волинська (7,6 %), Хмельницька (2,91 %) області [6]. Тому проблема дослідження карстових явищ є надзвичайно актуальною. В даній статті досліджуються закономірності просторового поширення поверхневого карсту шляхом статистичного аналізу сукупності ініціюючих факторів, що є основою для створення системи просторового прогнозу розвитку поверхневих карстопроявів.

Наукова новизна наведених досліджень, порівняно з відомими, полягає в кількісній імовірнісній оцінці карстових явищ. Роботи попередників обмежені описовим рівнем, в кращому випадку розрахунком ураженості території карстом [2, 8]. Дослідження в напрямку, який тут пропонується, відомі для зсувних процесів [4].

Карстові явища належать до екзогенних геологічних процесів. Їхні прояви контролюються рядом природних і

© Чепурний І., 2009

антропогенних факторів. Загальновизнане визначення основних умов утворення карсту наведене в роботі [7]: "Як геологічний процес, карст неухильно розвивається там, де існують одночасно наступні чотири умови: розчинність гірських порід, їх водопроникність, наявність рухомих вод, їх розчинна здатність".

В кожному окремому випадку сукупність основних умов розвитку карсту характеризується великою різноманітністю. Вона залежить від багатьох факторів і змінюється в часі, визначаючись для кожної області її геологічною історією. Наведені чотири умови виникнення і розвитку карсту є обов'язковими і необхідними, але процес карстоутворення пов'язаний з рядом супутніх природних процесів та явищ.

Для досліджень просторово-часового розвитку карстових процесів нами обрана ділянка розміром 50×65 км на території Львівської області, в межах якої зареєстровано 3549 карстопроявів (карстових воронок) (рис.1). Дана територія характеризується інтенсивним розвитком карбонатного (1285 воронок) і сульфатного (2264 воронки) видів карсту.

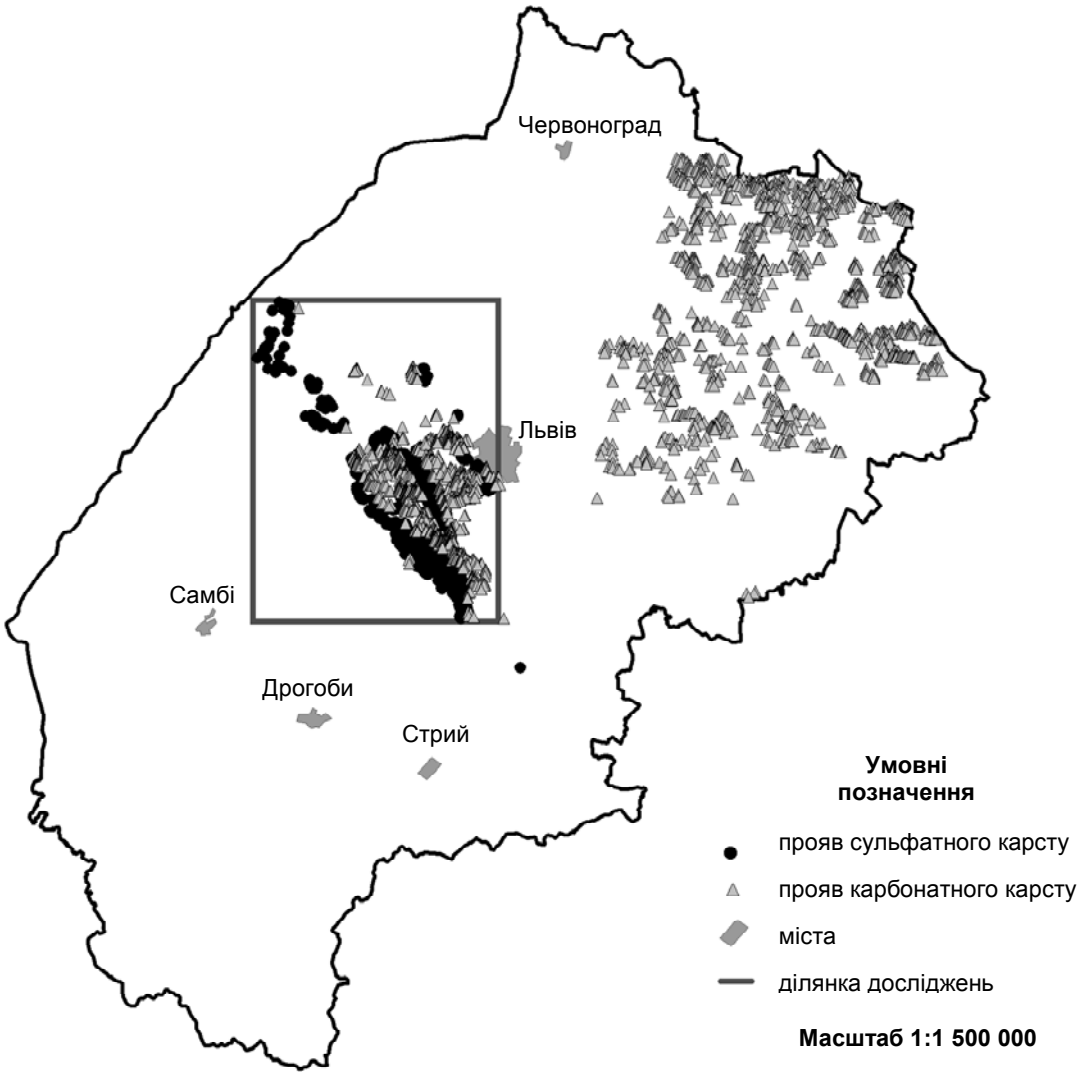

Рис.1 Схема території досліджень

Карбонатний карст має значне розповсюдження в межах крейдяних та неогенових відкладів південно-західної окраїни Східно-Європейської платформи (понад 11 тис км^2) та виражається у вигляді давніх безстічних понижень, воронок, карстових полів, ярів, понорів та ін. Окремі ознаки активізації карсту пов'язані з гідротехнічним будівництвом, експлуатацією водозаборів, розробкою кар'єрів.

Сульфатний карст має значне розповсюдження в зоні контакту Передкарпатського прогину та платформи на площі понад 2,5 тис. км^2. В зоні повного та часткового прорізання карстуючої товщі водотоком інтенсивно розвивається природний карст. При техногенній зміні гідрогеологічних умов і формуванні ділянок агресивного руху підземних вод від зон живлення до зон розвантаження відбувається розмив існуючих та заповнених глиною порожнин з катастрофічним утворенням техногенно обумовлених воронок [1].

Розвиток карсту на даній території пов'язаний з поширенням верхньобаденських відкладів – тираської світи, яка в своєму складі містить гіпсангідритовий горизонт, перекритий пелітоморфними та кристалічними вапняками [3].

Виходячи з теоретичних уявлень про процес карстоутворення, а також з об'єктивності впливу чинників в регіональному масштабі, для статистичної обробки нами розраховано кількісні характеристики в точках карстопроявів для наступних ймовірних чинників карстоутворення:

- геологічних – літологічний склад четвертинних відкладів, геологія дочетвертинних відкладів, відстань до тектонічного порушення;
- геофізичних – значення гравітаційного поля в редукції Буге;

• геоморфологічних – абсолютна висота над рівнем моря точки карстопрояву, кут нахилу земної поверхні, відстань до базису ерозії;

• гідрогеологічних – глибина залягання ґрунтових вод, водопровідність четвертинних відкладів, водопровідність неогенових відкладів, глибина водоупорів в товщі четвертинних і міоценових відкладів, наявність і тип першого від поверхні водоупору, потужність порід до першого від поверхні водоупору, потужність першого від поверхні водоупору, значення гідроізогіпс четвертинного і міоценового водоносного горизонту, ізопотужності четвертинного і міоценового водоносних горизонтів, катіонний, аніонний склад та мінералізація підземних вод четвертинного водоносного горизонту;

• інженерно-геологічні – відстань до найближчого карстопрояву;

• техногенні – відстань до ділянок порушення геологічного середовища (кар'єрів, водозаборів), відстань до населеного пункту.

Для розрахунку числових характеристик чинників для точок карстопроявів використовувався картографічний матеріал, який переводився засобами векторизації в цифровий формат ГІС Mapinfo. Тобто, всі значення чинників знімались з електронних карт регіонального масштабу.

Однією з основних проблем створення просторового прогнозу є відбір з великої кількості ініціюючих факторів дублюючих, і тих які не несуть в собі достатню інформативність. Це досягається шляхом послідовного застосування методів математичної статистики, а саме визначення законів розподілу значень чинників, кластерного та факторного методів аналізу, які дозволяють визначити дублюючі чинники й провести їх класифікацію. Аналіз матриці коефіцієнтів кореляції визначає суттєвість впливу кожного з факторів.

Після проведення зазначеного вище попереднього статистичного аналізу, виходячи з уявлень про перебіг процесу поверхневого карстоутворення, а також на основі аналізу відповідних літературних джерел на даному етапі досліджень відібрано 15, на нашу думку, найбільш вагомих чинників, що контролюють поширення поверхневого карсту в просторі. Це наступні чинники:

- значення гравітаційного поля в редукції Буге;
- R_i геологічних світ дочетвертинних відкладів;
- відстань до тектонічного порушення;
- відстань до базису ерозії;
- водопровідність четвертинних відкладів;
- водопровідність неогенових відкладів;
- потужність першого від поверхні водоупору;
- значення гідроізогіпс міоценового водоносного горизонту;
- ізопотужності міоценового водоносного горизонту;
- відстань до населеного пункту;
- відстань до ділянок порушення геологічного середовища (кар'єрів, водозаборів);
- R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі четвертинних відкладів;
- R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі міоценових відкладів;
- R_i зон типу першого від поверхні водоупору;
- відстань до найближчого карстопрояву.

На рисунку 2 наведено гістограми розподілу ймовірностей значень для 11 параметрів.

Для площинних факторів (біля яких покладено позначку R_i) застосовано кількісну характеристику, яка характеризує ураженість території карстовими процесами – "коефіцієнт контрастності", R_i, що визначається за формулою

$$R_i = \frac{N_i / \sum N_i}{S_i / \sum S_i} \qquad (1)$$

де N_i - кількість зареєстрованих карстопроявів в межах деякої зони (району); $\sum N_i$ - загальна кількість зареєстрованих проявів карсту в регіоні; S_i - площа деякої зони (району); $\sum S_i$ - загальна площа території всього регіону.

За результатами розрахунків коефіцієнта контрастності виконано ранжування в залежності від внеску зон в суму коефіцієнтів контрастності, що дозволить врахувати ці чинники в інтегральному показнику ймовірності карстонебезпеки.

З метою проведення подальшого аналізу виконано визначення найбільш ймовірних теоретичних законів розподілу параметрів з використанням непараметричного D-критерію Колмогорова-Смірнова (табл. 1).

Таблиця 1

Ймовірні закони розподілу для окремих параметрів

Параметр, одиниця вимірювання	Середнє значення	Середньоквадратичне відхилення	Теоретичний закон розподілу
Гравітаційне поле в редукції Буге	-385,298	32,430	Анормальний
Відстань до тектонічного порушення, м	1221,342	1177,031	Гамма
Відстань до базису ерозії, м	406,048	384,867	Вейбула
Водопровідність четвертинних відкладів, $м^2$/добу	11,085	13,648	Логнормальний
Водопровідність неогенових відкладів, $м^2$/добу	127,979	169,965	Гамма
Потужність першого від поверхні водо упору, м	10,767	11,846	Екстремальний
Гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту, м	267,893	26,091	Нормальний
Ізопотужність міоценового водоносного горизонту, м	14,540	10,287	Логнормальний
Відстань до населеного пункту, м	285,042	20,050	Логнормальний
Відстань до ділянок порушення режиму підземних вод (водозаборів, кар'єрів), м	4075,433	1846,913	Нормальний
Відстань до найближчого карстопрояву, м	148,935	170,607	Екстремальний

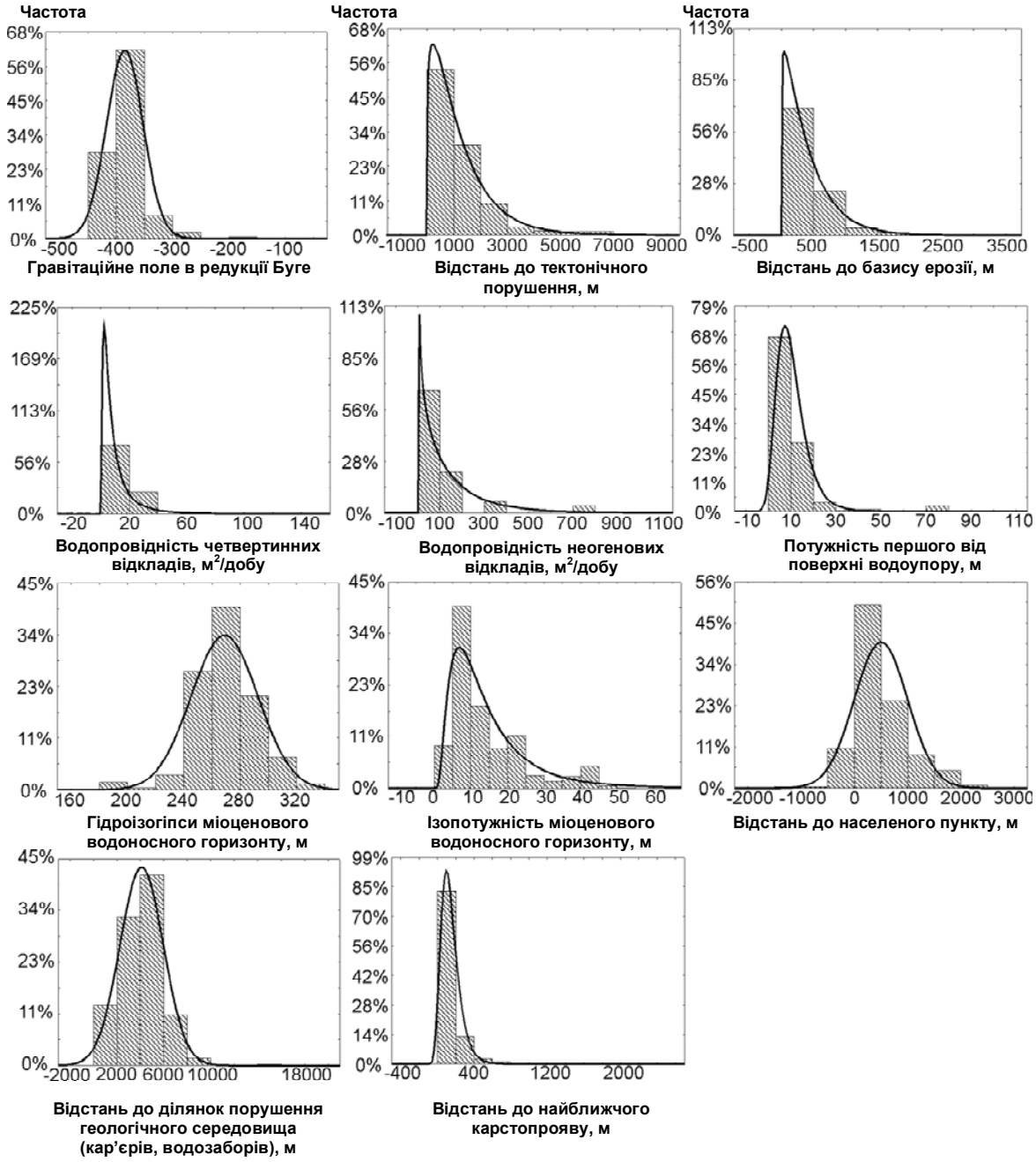

Рис. 2. Гістограми розподілу ймовірностей абсолютних значень факторів для 3549 карстопроявів

Наступним обов'язковим етапом є лінійне перетворення значень параметрів таким чином, щоб розподіли ймовірностей перетворених величин відповідали нормальному теоретичному закону. Враховуючи рівняння теоретичних законів розподілу можна вважати, що логарифми значень параметрів будуть підпорядковуватись нормальному закону розподілу. Наступним етапом є процедура нормалізації, яка має за мету трансформацію величин факторних характеристик, виражених у фізичних величинах, що отримані із аналізу карт або рядів їх розподілу в безрозмірні показники контрастності, з якими далі можна проводити математичні операції. Нормування проводиться за середнім значенням та середньоквадратичним відхиленням

На рисунку 3 зображено гістограми розподілу ймовірностей нормалізованих абсолютних та логарифмів значень параметрів карстоутворення після вилучення ураганних значень.

Застосування кластерного і факторного методів аналізу дозволяє підтвердити значимість кожного з факторів для процесу карстоутворення, встановити і вилучити дублюючі фактори. Побудована дендрограма (рис. 4) вказує на наявність окремих споріднених факторів: "гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту - відстань до найближчого карстопрояву - відстань до тектонічного порушення". Результати факторного аналізу (табл. 2) частково підтверджується наявність зв'язку, але тут існує дещо інша група споріднених факторів "гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту - відстань до найближчого карстопрояву - R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі четвертинних відкладів", причому ця спорідненість спостерігається лише в першому виявленому факторі. Таким чином, існує слабка статистична спорідненість в групі факторів "гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту - відстань до найближчого карстопрояву", але на нашу думку, ці фактори несуть різну за своєю природою інформацію і вилучати один із них з подальших досліджень є недоцільним.

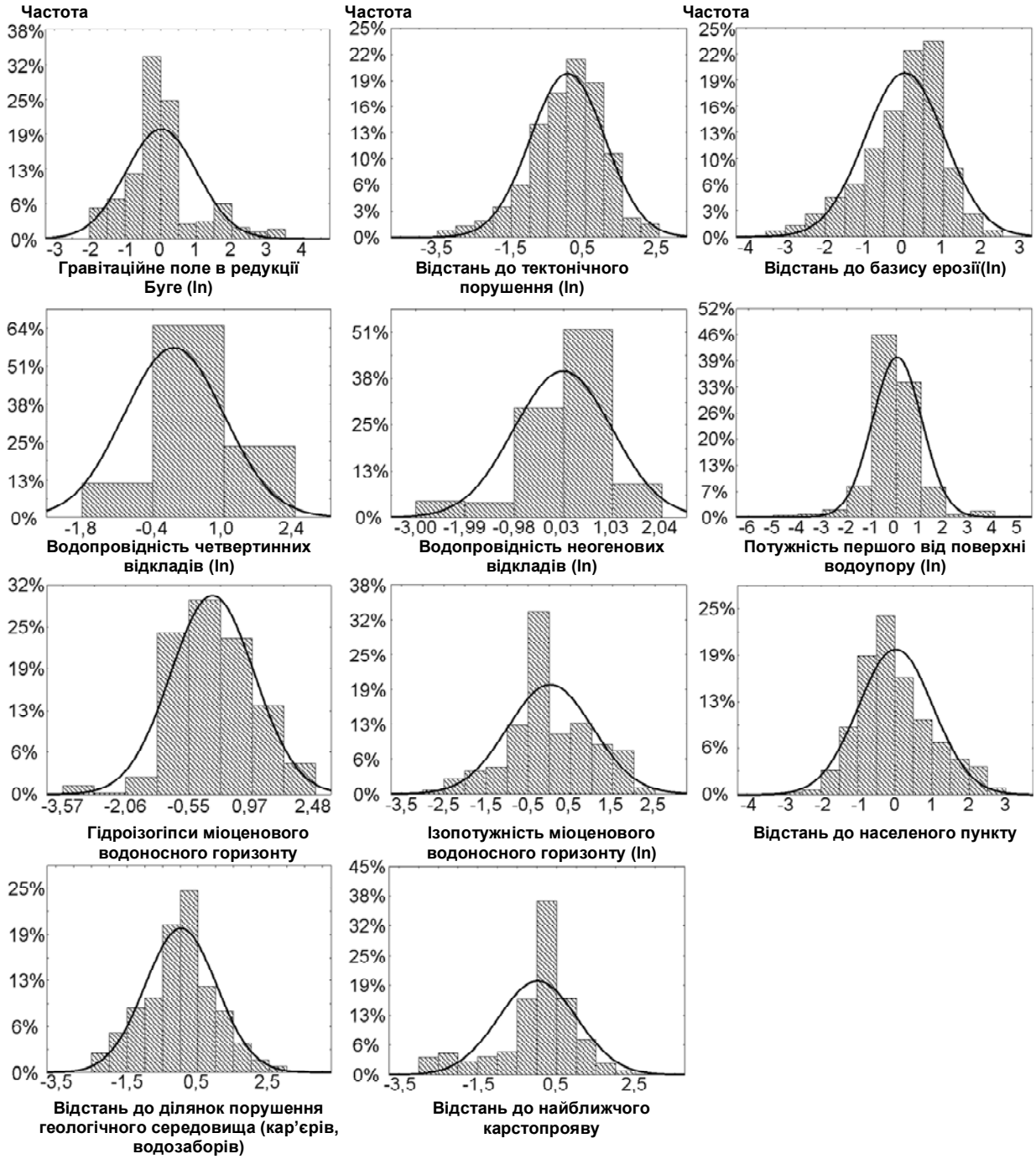

Рис.3. Гістограми розподілу ймовірностей нормалізованих абсолютних та логарифмів значень параметрів карстоутворення

З метою розрахунку сумарного показника активності розвитку поверхневих карстопроявів були виконані процедури визначення власних вагових коефіцієнтів інформативності (приведених загальних коефіцієнтів кореляції) для кожного з чинників, $R_{пр}$. Їх визначають з метою підтвердження правильності вибору факторів та визначення інформативності кожного з них. Формула розрахунку коефіцієнтів інформативності наступна:

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

де $r_{i,j}$ - значення коефіцієнта парної кореляції між i,j змінними у табл. матриці коефіцієнтів кореляції.

Значення вагових коефіцієнтів інформативності наведено в таблиці 3.

Наступним важливим етапом є розрахунок інтегрального показника, закономірно пов'язаного з розподілом поверхневого карсту. Цей етап виконується після визначення статистичних характеристик відповідних розподілів кожного фактора й виконання процедури нормалізації по кожному з параметрів, у результаті якої одержуємо нормалізоване значення параметра $П_{ij}$, де *i* - номер точки спостереження, *j* - номер параметра. Значення сумарного показника $ПΣ_i$ розраховується по формулі

$$ПΣ_i = \sum П_{ij} \times V_j \text{ ,} \qquad (3)$$

де V_j - ваговий коефіцієнт інформативності *j*-го параметра.

Таблиця 2

Матриця факторних навантажень, розрахована за методом головних компонент для просторових факторів карстоутворення

Назва чинника	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5
Гравітаційне поле в редукції Буге (ln)	0,001	0,356	-0,492	-0,539	-0,010
Відстань до тектонічного порушення (ln)	-0,444	0,391	0,131	0,012	-0,260
R_i геологічних світ дочетвертинних відкладів	0,347	0,152	-0,055	0,311	0,489
Відстань до базису ерозії (ln)	-0,017	0,022	0,000	0,072	***-0,768***
Водопровідність четвертинних відкладів (ln)	0,218	-0,069	-0,144	-0,141	0,641
Водопровідність неогенових відкладів (ln)	0,049	-0,375	-0,607	0,058	0,276
Потужність першого від поверхні водо упору (ln)	-0,079	***-0,741***	-0,090	0,094	0,116
Гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту	***-0,724***	0,422	0,171	-0,062	-0,182
Ізопотужність міоценового водоносного горизонту (ln)	-0,028	-0,015	***-0,839***	-0,058	-0,005
Відстань до населеного пункту+1400 (ln)	-0,103	0,017	0,034	***0,826***	-0,090
Відстань до ділянок порушення режиму підземних вод (водозаборів, кар'єрів)	0,021	***0,768***	0,019	0,007	0,192
R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі четвертинних відкладів	***0,789***	0,350	-0,090	0,075	-0,106
R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі міоценових відкладів	0,606	0,121	0,178	-0,445	0,180
R_i зон типу першого від поверхні водоупору	0,457	-0,459	0,064	-0,062	0,405
Відстань до найближчого карстопрояву (ln)	***-0,710***	0,006	-0,154	0,201	-0,263
Сумарна дисперсія	0,001	0,356	-0,492	-0,539	-0,010

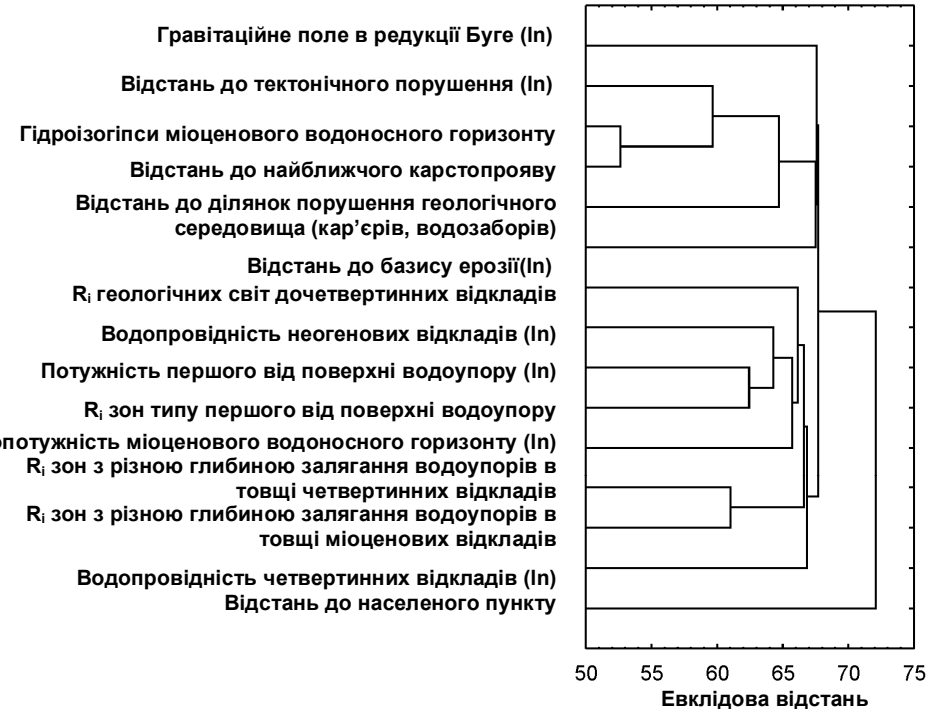

Рис.4. Дендрограма зв'язків між групами параметрів за результатами кластерного аналізу

Таблиця 3

Вагові коефіцієнти інформативності чинників карстоутворення

Назва чинника	Коефіцієнт інформативності, %
Гравітаційне поле в редукції Буге (ln)	4,74
Відстань до тектонічного порушення (ln)	8,04
R_i геологічних світ дочетвертинних відкладів	5,52
Відстань до базису ерозії (ln)	5,35
Водопровідність четвертинних відкладів (ln)	7,02
Водопровідність неогенових відкладів (ln)	6,11
Потужність першого від поверхні водо упору (ln)	5,98
Гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту	10,68
Ізопотужність міоценового водоносного горизонту (ln)	3,71
Відстань до населеного пункту+1400 (ln)	4,38
Відстань до ділянок порушення режиму підземних вод (водозаборів, кар'єрів)	5,30
R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі четвертинних відкладів	6,79
R_i зон з різною глибиною залягання водоупорів в товщі міоценових відкладів	8,28
R_i зон типу першого від поверхні водоупору	9,50
Відстань до найближчого карстопрояву (ln)	8,59

Гістограма значень отриманого інтегрального показника зсувної небезпеки, розподіл імовірностей якого підпорядковується нормальному закону наведена, на рис.5.

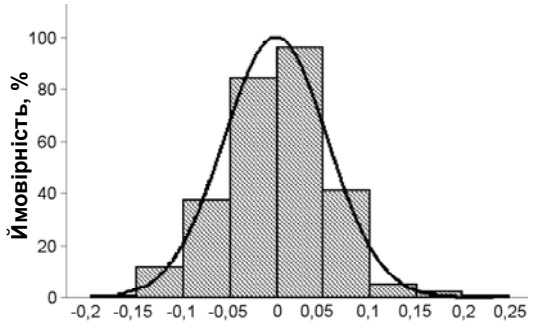

Рис. 5. Гістограма інтегрального показника утворення поверхневих карстопроявів, розрахованого з урахуванням всіх параметрів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності

Розподіл імовірності значень інтегрального показника вказує на високий ступінь його наближення до теоретичного нормального закону розподілу. Далі з використанням функції Лапласа розраховуються значення імовірності процесу розвитку карсту для території досліджень. Оптимальні умови для утворення поверхневих карстопроявів наступають тоді, коли значення ймовірності розподілу комплексного інтегрального показника, що враховує вплив факторів різної природи, досягає свого максимуму. Карти розподілу ймовірності зазначеного показника слід розглядати як прогнозні.

З наведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Значна ураженість території Західного регіону України проявами карсту, активізація якого часто може мати катастрофічні наслідки, свідчить про необхідність прогнозування розвитку цих процесів в просторі.

2. Дослідження просторової закономірності розвитку поверхневого карсту на регіональному рівні слід проводити з врахуванням сумарного впливу можливих факторів процесу карстоутворення. Для отримання достовірного результату відбираються ті фактори, які є значимими за характером впливу.

3. Кінцевим результатом виконаних досліджень є розрахунок інтегрального показника утворення поверхневих карстопроявів, який на кількісному імовірнісному рівні враховує сумарну дію факторів карстоутворення. Просторовий прогноз поверхневих проявів карсту здійснюється шляхом побудови карт розподілу ймовірності зазначеного показника.

1. *Адаменко О.М., Рудько Г.І.* Екологічна геологія: Підручник. – К., "Манускрипт". - 1998. 2. *Гайдін А.М., Рудько Г.І.* Сульфатний карст та його техногенна активізація (на прикладі Карпатського регіону України). – К.: "Знання" України, 1998. – 76 с. 3. *Климчук А.Б.* Роль спелеогенеза в формировании серных месторождений Предкарпатья.– Симферополь:ДИАЙПИ, 2008.– 64 с. 4. *Кузьменко Е.Д., Крижанівський Є.І., Карпенко О.М., Журавель О.М.* Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійності експлуатації трубопроводів// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2005.- №4(17).– С. 24-35. 5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році. – К.: ДП "Агентство "Чорнобильінформ", 2006. – 242 с. 6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – К.: ДП "Агентство "Чорнобильінформ", 2007. – 236 с. 7. *Соколов Д.С.* Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 321 с. 8. *Стахів Т., Павлюк В., Гаврилишин І. та ін.* Узагальнення матеріалів по вивченню екзогенних геологічних процесів по території діяльності підприємства та інженерно-геологічне довивчення території Львівської та частково Закарпатської областей з метою геологічного обґрунтування протизсувних заходів та геологічного забезпечення УІАС НС/ Звіт про науково-дослідну роботу. – Львів: ДП "Західукргеологія", 2006. – 299 с.

Надійшла до редколегії 12.04.08

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837:550.348

І. Крив'юк, асп.

ОСОБЛИВОСТІ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ СТІЙКОСТІ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ СХИЛІВ НА ДІЛЯНКАХ ГАЗОПРОВОДІВ

Розроблено та впроваджено комплексний підхід до розрахунку стійкості схилу з урахуванням геофізичних даних. Проаналізовано результати комплексного підходу до оцінки зсувної небезпеки на прикладі двох зсувних ділянок в районі газопроводів.

The complex approach to calculation of stability of a slope in view of geophysical data is developed and entered. Results of the complex approach to an estimation of sliding dangers on an example of two sliding sites in area of gas mains are analysed.

На даний час розроблено та впроваджено комплексний підхід до оцінки зсувної небезпеки, який передбачає поєднання послідовного вивчення зсувних ділянок геологічними, геофізичними та інженерно-геологічними методами, з розрахунком стійкості схилу та прогнозом можливості виникнення та активізації зсувів. Переваги такого комплексного підходу є наступними:

1) до недавна прогнозування активізації зсувних процесів проводилося на основі комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних з розрахунком функції комплексного показника та критерію ймовірності зсувних процесів, що дає можливість оцінити зсувонебезпечність на ймовірнісному рівні [1]. Подальший розрахунок стійкості схилу дає можливість на кількісному рівні оцінити небезпеку розвитку зсуву на схилі;

2) основними кількісними методами оцінки схилів і відповідно прогнозу зсувних процесів на них є розрахункові. Дані методи прийнято називати методами розрахунку стійкості схилів. На даний час запропоновано декілька груп таких методів. Основою більшості з них є теорія рівноваги однорідного ізотропного середовища. Перевага розрахункових методів полягає в тому, що вони дають можливість як оцінити наявну ситуацію на досліджуваній ділянці, так і змоделювати ситуацію, враховуючи вплив різних можливих зсувоініціюючих факторів, і, аналізуючи отримані дані, вибрати найефективніші методи запобігання подальшого розвитку зсувного процесу;

3) геофізичні методи дослідження дають цінну та незаміниму інформацію для подальшого розрахунку стійкості схилу – оконтурення зсувного тіла в просторі, і, що найважливіше, усувають основний недолік розрахункових методів – визначення гіпотетичної ймовірної поверхні ковзання [2]. За допомогою методу вертикального електричного зондування можна встановити як положення поверхні ковзання, так і її тип (круглоцилiндрична чи плоско-ступінчата).

© Крив'юк І., 2009