

УДК 550.8.053:551

© Д.В. Касіянчук, аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ПРИРОДНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ СКЛАДОВИХ РОЗВИТКУ КАРСТУ

*У статті обґрунтовано вибір факторів при прогнозуванні карсту. Проведений статистичний аналіз даних, який дозволяє визначити приналежність вибору факторної характеристики для природної та техногенної складових розвитку карсту. Розраховані вагові коефіцієнти інформативності факторних характеристик.*

**Ключові слова:** екзогенні геологічні процеси (ЕГП), карст, факторна характеристика, природна складова, техногенна складова, статистичний аналіз.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження карстових процесів є значними через їх поширення та небезпеку від їх проявів. Останніми найобґрунтованішими дослідженнями провальньо-просадкових проявів карсту є роботи Е.Д. Кузьменка, І.В. Чепурного [1, 2]. Виконані авторами дослідження дозволили з урахуванням основних просторових і часових факторів сформулювати можливості для створення прогнозних моделей розвитку сульфатного і карбонатного карсту.

Вартими уваги є міжнародні конференції, симпозіуми з вивчення карстових процесів, такі як «International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions» (Будапешт, 2013 р.), «International Conference Karst Without Boundaries» (Хорватія, 2014 р.), 5th International Symposium on Karst (Іспанія, 2014 р.). За їх результатами здійснено ряд прикладних досліджень, які охопили проблеми геоморфології карсту, основні причини виникнення, проблеми прогнозування та карстопровальної небезпеки. За результатами Міжнародного симпозіуму з карсту створена постійно діюча комісія при ЮНЕСКО «Environmental Change and Sustainability in Karst Systems», яка покликана на глобальному рівні досліджувати карстопровальні явища.

Перші кроки з обґрунтування вибору факторів та розрахунку їх факторних характеристик при роздільному прогнозуванні природної та техногенної складових ЕГП виконані Касіянчуком Д.В. Зокрема, у роботі [3] проведений аналіз факторів, які впливають на розвиток й активізацію ЕГП та використовуються при прогнозуванні екзогенних геологічних процесів. Фактор як умова розвитку ЕГП володіє факторною характеристикою, тобто мірою визначення фактора, її числовим значенням.

**Мета і задачі дослідження.** Важливість окремого дослідження природної та техногенної складових екзогенних геологічних процесів, яке би чітко розмежувало внесок кожного фактора в ту чи іншу складову, є важливою і недостатньо вивченою проблемою. Підтвердженням цього є дані Інформаційного щорічника з активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП [4].

Основною метою дослідження є обґрунтування вибору природних та техногенних факторів при прогнозуванні карстопроявів.

Для досягнення мети необхідно: провести аналіз статистичних розподілів факторних характеристик; здійснити перевірку законів розподілу; проаналізувати статистичні розподіли та обґрунтувати необхідність роздільного прогнозування природної і техногенної складових факторів; виконати розрахунок вагових коефіцієнтів інформативності природної та техногенної складових факторів розвитку карсту.

**Методичні та наукові основи сучасних результатів досліджень.** Статистичний аналіз даних дозволяє аналітично обґрунтувати правильність вибору факторних характеристик для розподілу груп факторів на природну та техногенну складові. Для порівняльного аналізу фактичних даних із даними теоретичного розподілу необхідно провести перевірку результатів їх відповідності законам розподілу: нормального – природна складова, логнормального – техногенна складова. З цією метою за фактичними даними будуються відповідні гістограми розподілів.

Проведемо відповідний статистичний аналіз факторів природної та техногенної складових розвитку карсту. Для аналізу було обрано 2169 карстових ділянок, для яких розраховані факторні характеристики на основі даних картографічних матеріалів (за допомогою програми ГІС MapInfo Professional 10.0) та виконаний статистичний аналіз за допомогою програми STATISTICA 6.1.478 – Russian Edition.

При аналізі факторних характеристик, виявленні впливу дублюючих факторів, не варто забувати про різну природу факторів та формалізований математичний шлях їх розрахунків.

Часто зв'язок між різними факторами та їх факторними характеристиками при аналізі геологічного середовища взагалі не піддається поясненню з генетичного чи причинно-наслідкового поглядів, оскільки спостережувані взаємозалежності можуть бути пов'язані не з досліджуваними геологічними процесами, а, наприклад, з методикою вимірювання або іншими причинами [5].

### *Природна складова*

Статистичний аналіз шляхом визначення основних статистичних ознак та довірчого інтервалу для природної складової (*таблиця 1*) призводить до зменшення основних статистичних параметрів у межах довірчого інтервалу.

Розглянуті в таблиці результати аналізу з використанням коефіцієнта Стьюдента дозволили вилучити значення, що не входять у довірчий інтервал. Відносна похибка не перевищує 5%, тобто рівень достовірності значень вибірки становить понад 95%. Регуляризація даних у цих випадках вплинула на зміну закону розподілу тільки для факторних характеристик під

номерами 5, 6, 8, 9. Відповідність решти факторних характеристик нормальному закону підтверджує достовірність їх даних.

**Таблиця 1 – Дані статистичного аналізу факторних характеристик (природна складова)**

	Середнє значення вибірки, $\bar{X}_{сп}$	Стандартне відхилення, S	Стандартне відхилення середнього, $S_{сп}$	Коефіцієнт Стьюдента, (5%, n-1), t	Довірчий інтервал, ДІ = t · $S_{сп}$	Відносна похибка, $\delta$ (%)	Довірчий інтервал, (95%), X
Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити (1)	0,0898	0,5928	0,0127	1,9611	0,025	5,7864	0,3677± 0,025
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП) (2)	0,9348	0,4932	0,0106	1,9611	0,0208	2,2215	0,9570± 0,0208
Кількість (інтенсивність) опадів (3)	649,539	15,8484	0,3403	1,9611	0,6673	0,1027	649,540± 0,6673
Відстань до тектонічного розлому (4)	10626,665	4038,5997	86,7164	1,9611	170,0559	1,6003	10626,681± 170,056
Відстань до базису ерозії (5)	619,251	437,9655	9,4039	1,9611	18,4417	2,9781	619,2808± 18,4417
Відстань до вододілу (6)	1958,5492	1409,5404	30,2655	1,9611	59,3524	3,0304	1958,5795± 59,3524
Абсолютна оцінка над рівнем моря (7)	286,1595	39,1286	0,8402	1,9611	1,6476	0,5758	286,1653± 1,6476
Кут нахилу денної поверхні (8)	1,1754	1,0186	0,0219	1,9611	0,0429	3,649	1,2119± 0,0429
Відстань до найближчого прояву (9)	3748,8664	3015,3824	64,746	1,9611	126,9706	3,3869	3748,9003± 126,9706
Експозиція схилу (10)	183,4896	100,3665	2,1551	1,9611	4,2262	2,3032	183,5127± 4,2262
Потужність першого від поверхні водоупора (11)	9,6266	3,2957	0,0708	1,9611	0,1388	1,4416	9,6410± 0,1388
Потужність четвертинного водоносного горизонту (12)	294,2281	24,6792	0,5299	1,9611	1,0392	0,3532	294,2316± 1,0392
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту (13)	257,3544	38,788	0,8329	1,9611	1,6333	0,6346	257,3607± 1,6333

Оскільки функціональні залежності між досліджуваними параметрами в переважній більшості випадків невідомі, дуже складні та недостатньо вивчені, то використання кореляційного аналізу є важливим для моделювання (прогнозування) геологічних процесів.

Розрахунки матриць парних коефіцієнтів кореляції (таблиці 2, 4) між факторними характеристиками дозволяють оцінити кореляційні зв'язки між групами факторних характеристик. Істотні значення між випадковими величинами можуть бути пояснені впливом прихованих (інших) факторів; компенсація ж тільки зменшить її реальний зв'язок, що може свідчити про наявний тісний причинно-наслідковий зв'язок між парами факторних характеристик.

**Таблиця 2 – Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для природної складової**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	$Rnp_i$
Коефіцієнт ураженості літофаціальної зони, геологічної свити (1)	1,00	0,09	0,00	0,05	0,10	-0,12	-0,05	-0,16	0,10	0,01	0,02	0,03	-0,05	8
Коефіцієнт ураженості в межах району (в т.ч. іншими ЕГП) (2)	0,09	1,00	-0,19	0,33	0,00	-0,15	-0,03	-0,18	-0,20	0,03	0,11	0,62	-0,04	10
Кількість (інтенсивність) опадів (3)	0,00	-0,19	1,00	0,01	-0,05	-0,09	0,39	0,19	0,06	0,02	-0,03	0,05	0,41	8
Відстань до тектонічного розлому (4)	0,05	0,33	0,01	1,00	0,07	-0,10	0,00	0,08	-0,10	0,08	0,21	0,18	0,00	6
Відстань до базису ерозії (ln) (5)	0,10	0,00	-0,05	0,07	1,00	-0,18	0,10	0,04	0,01	0,01	0,23	0,06	0,04	5
Відстань до вододілу (ln) (6)	-0,12	-0,15	-0,09	-0,10	-0,18	1,00	-0,11	0,17	-0,05	-0,07	0,08	-0,20	-0,11	8
Абсолютна оцінка над рівнем моря (7)	-0,05	-0,03	0,39	0,00	0,10	-0,11	1,00	0,08	0,08	-0,05	0,09	0,19	0,97	10
Кут нахилу денної поверхні (ln) (8)	-0,16	-0,18	0,19	0,08	0,04	0,17	0,08	1,00	-0,09	-0,35	0,06	-0,13	0,08	9
Відстань до найближчого прояву (ln) (9)	0,10	-0,20	0,06	-0,10	0,01	-0,05	0,08	-0,09	1,00	0,05	-0,12	-0,18	0,07	6
Експозиція схилу (10)	0,01	0,03	0,02	0,08	0,01	-0,07	-0,05	-0,35	0,05	1,00	0,04	0,02	-0,05	4
Потужність першого від поверхні водоупора (11)	0,02	0,11	-0,03	0,21	0,23	0,08	0,09	0,06	-0,12	0,04	1,00	0,20	0,08	7
Потужність четвертинного водоносного горизонту (12)	0,03	0,62	0,05	0,18	0,06	-0,20	0,19	-0,13	-0,18	0,02	0,20	1,00	0,19	10
Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту (13)	-0,05	-0,04	0,41	0,00	0,04	-0,11	0,97	0,08	0,07	-0,05	0,08	0,19	1,00	10

Окремим, не менш важливим етапом дослідження є оцінювання внеску ( $Rnp_i$  – коефіцієнта інформативності) окремих факторних характеристик у процес розвитку й активізації карсту, розрахованих за формулою (таблиці 2, 4) [6]:

$$Rnp_i = \frac{\sum_j |r_{ij}|}{\sum_i \sum_j |r_{ij}|}, \quad (1)$$

де  $r_{ij}$  – значення коефіцієнта парної кореляції між  $i, j$  змінними в таблицях 2 і 4 матриць коефіцієнтів кореляції.

Вагові коефіцієнти інформативності (ВКІ) є оцінні значення, що вказують на відносну важливість або вплив кожної факторної характеристики. Основна мета визначення вагових коефіцієнтів полягає в можливості встановити окреслені пріоритети роботи, тобто підтвердити або спростувати висунуту гіпотезу. Їх визначають також із метою підтвердження правильності вибору факторів.

Результати вагових коефіцієнтів (табл. 2) вказують на рівноцінність впливу факторних характеристик активізації та розвитку природної складової розвитку карсту.

#### Техногенна складова

Результати аналізу техногенної складової (табл. 3) з використанням коефіцієнта Стьюдента дозволили вилучити значення, що не входять у довірчий інтервал.

Таблиця 3 – Дані статистичного аналізу факторних характеристик (техногенна складова)

	$X_{cp}$	S	Scp	t	Ді	$\delta$ (%)	X
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (1)	7468,6107	2842,5551	61,035	1,9611	119,6933	1,6026	7468,6268± 119,6933
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району (2)	0,8504	0,1751	0,0038	1,9611	0,0074	0,8669	0,8590± 0,0074
Зміна лісових площ (ln) (3)	1776,1144	990,8327	21,275	1,9611	41,7216	2,349	1776,1378± 41,7216
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації (4)	9,2564	7,7467	0,1663	1,9611	0,3262	3,524	9,2917± 0,3262
Зміна кута нахилу (5)	1,6403	0,5127	0,011	1,9611	0,0216	1,3161	1,6535± 0,0216
Коефіцієнт стійкості (6)	0,7082	0,9133	0,0196	1,9611	0,0385	5,4333	0,7625± 0,0385
Коефіцієнт порушеності (7)	290,6843	38,675	0,8304	1,9611	1,6285	0,5602	290,6899± 1,6285
Відстань до дороги, залізниці (8)	835,0037	626,9873	13,4626	1,9611	26,401	3,1618	835,0353± 26,4010
Відстань до населеного пункту (9)	734,2395	673,3833	14,4588	1,9611	28,3546	3,8618	734,2781± 28,3546

При цьому відносна похибка не перевищує 5%, тобто рівень достовірності значень вибірки становить понад 95%. Регуляризація даних у цих випадках вплинула на зміну закону розподілу тільки для факторної характеристики «Зміна лісових площ (ln)». Відповідність решти факторних характеристик логнормальному закону підтверджує правильність вибору факторів та достовірність розрахункових даних.

Дані таблиці матриці парних коефіцієнтів кореляції для техногенної складової (табл. 4) підтверджують наявність тісних причинно-наслідкових зв'язків між парами факторних характеристик. Найнижчих значень вони досягають для факторних характеристик під номерами 1, 3, 8, 9. Існування такого зв'язку між іншими складовими техногенних факторів може пояснюватися не тільки високим кореляційним зв'язком фактичних картографічних даних, а й нашими уявленнями про фізику процесів активізації та розвитку карсту.

**Таблиця 4 – Матриця парних коефіцієнтів кореляції між факторними характеристиками для техногенної складової**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$Rnp_i$
Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів) (1)	1,00	-0,05	0,08	-0,04	-0,05	-0,05	0,04	0,02	-0,18	8
Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району (2)	-0,05	1,00	0,01	0,99	1,00	1,00	0,83	0,05	0,06	15
Зміна лісових площ (ln) (3)	0,08	0,01	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	-0,05	-0,04	6
Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації (4)	-0,04	0,99	0,00	1,00	0,99	0,99	0,82	0,19	0,10	15
Зміна кута нахилу (5)	-0,05	1,00	0,00	0,99	1,00	1,00	0,83	0,05	0,06	15
Коефіцієнт стійкості (6)	-0,05	1,00	0,00	0,99	1,00	1,00	0,83	0,05	0,06	15
Коефіцієнт порушеності (7)	0,04	0,83	-0,05	0,82	0,83	0,83	1,00	0,04	0,10	14
Відстань до дороги, залізниці (8)	0,02	0,05	-0,05	0,19	0,05	0,05	0,04	1,00	0,35	6
Відстань до населеного пункту (9)	-0,18	0,06	-0,04	0,10	0,06	0,06	0,10	0,35	1,00	6

Вагові коефіцієнти інформативності факторних характеристик для техногенної складової (табл. 4) є рівноцінними за своїм впливом. Факторні характеристики “Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)”, “Зміна лісових площ (ln)”, “Відстань до дороги, залізниці”, “Відстань до населеного пункту”, які не досягали високих значень кореляційного зв'язку, мають право на існування. Дані факторні характеристики справді незначно впливають на розвиток чи активізацію карсту, оскільки вони відображають лише частковий вплив людини, не враховуючи при цьому особливості розвитку карсту, та все ж мають право на існування.

Значення вагових коефіцієнтів інформативності як для техногенної, так і для природної складової знаходяться приблизно в однакових відсоткових значеннях.

Виявлення взаємовпливу або повторюваності факторних характеристик між складовими є дуже важливим, оскільки за подальшого аналізу вага факторної характеристики може помилково надати перевагу модельованому процесу в точці, де цей вплив неможливий.

Відсутність зв'язку факторів підтверджено відповідним статистичним аналізом, а також вибором факторних характеристик, який проводився з урахуванням фізики явища, окрім того, вагові значення інформативності не дають окремій факторній характеристиці переважати у сформованій структурі групи факторів.

За результатами аналізу та розв'язку сформованих задач, які мали на меті обґрунтувати ймовірність роздільного прогнозування карсту, уперше виділені факторні характеристики із сукупності відомих факторів розвитку і активізації карсту. Виокремлення за допомогою ряду статистичних операцій факторних характеристик дозволило обґрунтувати розподіл факторів. Це дає передумови для подальших досліджень у створенні єдиної прогнозної системи. На цьому етапі досліджень постає наступна задача: яким же чином описати математично модель розвитку і активізації карстових процесів.

### **Висновки**

За результатами проведеного аналізу даних картографічних матеріалів обґрунтовано вибір факторів, які можна використати для створення прогнозних моделей розвитку й активізації карсту. Систематизація картографічних і розрахункових даних факторних характеристик уперше дозволила виокремити природну та техногенну складові шляхом проведення аналізу розподілів факторних характеристик та розрахунку вагових коефіцієнтів інформативності. У результаті доведено необхідність роздільного прогнозування природної та техногенної складових факторів. Використання отриманих результатів закладає підвалини створення аналітичної комп'ютерної системи прогнозування карсту.

### **Список використаної літератури**

1. Закономерная связь между величинами вероятностей развития приповерхностного карста в карбонатных и сульфатных породах и карстопроходной опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом № 394 / Кузьменко Э.Д., Рудько Г.И., Вдовина Е.П., Чепурный И.В. // Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных гипотез. – Москва: изд. Российской академии естественных наук, 2011. – С. 29–30.
2. Довгострокове прогнозування провальньо-просадочних проявів карсту: монографія / Е.Д. Кузьменко, І.В. Чепурний, П.П. Чалий. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 272 с.
3. Касіянчук Д.В. Природна і техногенна складова факторів екзогенних геологічних процесів // Матеріали доповідей XII Міжнародної наукової конференції. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» [Електронний ресурс], 13–16 травня 2013 р. – м. Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см.
4. Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП – Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2013. – 24 іл. – 98 с.

5. Толстых Е.А., Клюкин А.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов. – М.: Недра, 1984. – 117 с.

6. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Частина 2. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів. Геоінформаційна система прогнозування екзогенних геологічних процесів / Кузьменко Е.Д., Журавель О.М., Чепурна Т.Б., Чепурний І.В., Штогрин Л.В. // Геоінформатика, № 4, 2011. С. 58–77.

*Стаття надійшла до редакції 20.08.14 українською мовою*

© Д.В. Касиянчук

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ  
ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАЗВИТИЯ КАРСТА**

*В статье обоснован выбор факторов при прогнозировании карста. Проведен статистический анализ данных, который позволяет определить принадлежность выбора факторной характеристики для природной и техногенной составляющих развития карста.*

© D.V. Kasiyanchuk

**STATISTICAL ANALYSIS OF THE FACTORS OF NATURAL AND TECHNOGENIC  
COMPONENT OF KARST**

*This article discusses and summarizes the differences and similarities of factors and components that contribute to the revitalization and development of karsts. Formed the structure of factors averaged over the natural and technogenic components with analysis of their factor characteristics.*