

ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ПРОВАЛЬНИХ ПРОЯВІВ СУЛЬФАТНОГО І КАРБОНАТНОГО КАРСТУ В НЕОГЕНОВИХ ВІДКЛАДАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ (НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

І. В. Чепурний

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504576,
e-mail: g b g @ n u n g . e d u . u a*

Статтю присвячено проблемі довгострокового регіонального просторово-часового прогнозування розвитку карстопровальних явищ в сульфатно-карбонатних породах. Встановлено, що прогнозування карстопровальних процесів слід здійснювати з врахуванням комплексного впливу просторових і часових карстоініціюючих чинників. Визначено оптимальний для даної території комплекс чинників карстоутворення. Величинами, що на кількісному рівні враховують вплив просторових і часових чинників, запропоновано вважати інтегральні просторові і часові показники карстопровальної небезпеки. На кількісному ймовірнісному рівні здійснено прогноз розвитку карстових провалів в часі і просторі.

Ключові слова: карст, екзогенні геологічні процеси, просторовий та часовий прогноз, інтегральний показник, карстоініціюючі фактори.

Статья посвящена проблеме долгосрочного регионального пространственно-временного прогнозирования развития карстопровальных явлений в сульфатно-карбонатных породах. Установлено, что прогнозирование карстопровальных процессов следует осуществлять с учетом комплексного влияния пространственных и временных карстоиницирующих факторов. Определен оптимальный для данной территории комплекс факторов карстообразования. Величинами, учитывающими на количественном уровне влияние пространственных и временных факторов предлагается считать интегральные пространственные и временные показатели карстопровальной опасности. На количественном вероятностном уровне осуществлен прогноз развития карстовых провалов во времени и пространстве.

Ключевые слова: карст, экзогенные геологические процессы, пространственный и временной прогноз, интегральный показатель, карстоиницирующие факторы.

The article is devoted to the issue of karst formation in sulfat-carbonatic breeds and the long-term regional spatio-temporal forecast of it. It was defined that the forecast of the karstic processes should have done using of recognition complex influence of spatial and temporal karstic formation factors. Is noted the optimum complex of the factors to the karstic development to this territory. The sizes, that at the quantitative level take into account influence of the spatial and temporal factors, suggested to count the integral spatial and temporal indexes of karstic danger. The forecast of the karstic failures development was carried out in the time and space at the quantitative probabilistic level.

Keywords: karst, exogenous geological processes, geophysical researches, karst, time-space forecasting, integral parameter, factors of karstic formation

Катастрофічний розвиток карстових процесів часто спричиняє виникнення геологічних надзвичайних ситуацій природного характеру. Зазначено, що в 2008 році в розподілі надзвичайних ситуацій за класами (відносно кількості випадків), природні надзвичайні ситуації становили 40% від загальної кількості, з яких 6% – надзвичайні ситуації геологічного характеру [1]. Стосовно місця карсту в сукупності надзвичайних ситуацій геологічного характеру, до яких також відносять зсуви, підтоплення, осідання денної поверхні, землетруси, то за період 1997-2004 рр. кількість небезпечних поверхневих проявів карсту складала 5%. Основна кількість карстових провалів сталася на території двох областей – Львівської та Закарпатської [2].

В Україні карстовими процесами охоплено понад 35% території. Основним негативним наслідком карстового процесу є, насамперед, можливий розвиток провальних-осідальних деформацій. Якщо в 1960-х роках в Україні було відомо 109 провальних-осідальних дефор-

мацій поверхні, що виникли у зв'язку з господарським освоєнням території (Донбас, Гірський Крим, Полісся), то на початку 1980-х років лишень у межах 10 ділянок високого техногенного навантаження налічувалось понад 2000 таких деформацій [3].

Дослідженням екзогенних геологічних і, зокрема, карстових процесів приділяється значна увага, про це свідчить велика кількість публікацій, серед яких варто виділити роботи вітчизняних науковців: О.М.Адаменка, В.Н.Андрейчука, А.М.Гайдіна, С.В.Гошовського, О.Б.Климчука, Г.І.Рудька та інших.

Фундаментальними працями, в яких широко висвітлено проблему карсту як геологічного явища, можна назвати роботи [4-8]. Спроби розробки методики прогнозування карстових процесів були зроблені в роботах [9-10]. Хоча в них і наведений опис прогнозу ЕГП, стосовно карсту є тільки декларація загальних схем, що не знайшла застосування. Просторовий прогноз вичерпується етапом побудови інженерно-

геологічних карт інтенсивності прояву ЕГП із виділенням таксонометричних одиниць і розрахунком ураженості територій для цих одиниць. Часовий прогност ЕГП базується на результатах обробки режимних спостережень. Сучасні роботи з часового прогнозування пропонують комплекс класичних статистичних методів, спеціалізованих евристичних процедур і адаптивних статистичних методів. Для ритмічних процесів, до яких відносяться карстопровальні, рекомендуються гармонічний і спектральний аналіз. Ці рекомендації досі залишались нездійсненними.

Про актуальність вивчення і прогнозу провальньо-осідальних проявів карсту свідчать результати роботи 33-го Міжнародного геологічного конгресу, який відбувся 6-12 серпня 2008 року в Осло (Норвегія), де було представлено понад 100 доповідей, присвячених проблемам карстології, спелеології, морфології і генезису карсту, наслідкам прояву карстових процесів.

Із зазначеного огляду випливає:

1) попри актуальність питання науково обґрунтованих систем прогнозування карстопровальних процесів не існує;

2) необхідним є встановлення закономірного зв'язку чинників утворення карстових проваль з просторово-часовим розподілом карсту з метою створення довгострокового регіонального прогнозу.

На основі вивчення механізму утворення карстових проваль та емпіричних залежностей, які пов'язують карстове провалля з критичною глибиною залягання карстової порожнини [11] і враховують геологічні і гідрогеологічні умови території [12], можна зробити ряд висновків про можливість використання карстових лійок як кількісної міри інтенсивності розвитку карсту:

1) провальні лійки є основною формою прояву приповерхнього карсту;

2) кількість провальних лійок однозначно пов'язана з розвитком карсту;

3) кількісні критерії зв'язку можливості утворення лійок і основних умов розвитку карсту не підлягають масовому визначенню і не є доступними, виходячи з інформації, що отримується в матеріалах топографічних, геологічних, інженерно-геологічних та інших досліджень;

4) варто шукати закономірні зв'язки розвитку карстових процесів із комплексом геологічних, ландшафтних, геоморфологічних, тектонічних, кліматичних та інших факторів – це єдиний шлях констатації кількісних закономірностей розвитку карсту.

Алгоритм дослідження полягає в послідовності реалізації дій, зображених на рис. 1. Слід зазначити, що зображена на рисунку схема досліджень успадковує універсальний алгоритм прогнозування екзогенних геологічних процесів, запропонований Е.Д.Кузьменком [13]. Комплекс просторових і часових факторів вибирається з таких міркувань: забезпечення представництва всіх груп факторів; залежність частоти прояву екзогенних геологічних проце-

сів від розподілу характеристик факторів, розподіл факторних характеристик підпорядковується одному з статистичних законів; фактори включають одноразовий значний взаємовплив, ритми часових факторів узгоджується з ритмами карстопровальних процесів; коефіцієнт значимості (інформативності) факторних характеристик у їх просторових і часових розподілах приблизно однаковий; фактори є об'єктивними, відповідають регіональному рівню і є загальнодоступними для користувача.

Обґрунтування вибору кількісних факторних просторових характеристик здійснюється за такими критеріями:

1) наявність літературних даних про зв'язок між карстовими явищами і певною факторною характеристикою;

2) уявлення про можливість такого зв'язку з погляду фізики явища. Щодо часових характеристик, то вони є однаковими для всіх ЕГП: сонячна активність (характеризується числом Вольфа); річна кількість опадів; середньорічна температура повітря; сейсмічна активність (сумарна річна енергія землетрусів), середньорічні коливання рівня підземних вод.

Закон розподілу визначається відповідно до гістограми розподілу карстових проваль у регіоні досліджень, на якій вздовж осі ординат відкладається частота утворення проявів карсту (карстових лійок), а вздовж осі абсцис – кількісний факторний показник.

Уніфікація законів розподілу провальних проявів карсту здійснюється шляхом лінійних перетворень так, щоб розподіли ймовірності перетворених величин відповідали нормальному теоретичному закону. Для цього достатньою є процедура логарифмування розподілів, які відрізняються від нормального.

Підтвердження значимості просторових факторів і виявлення дублюючих факторів з метою виключення останніх з розрахунків виконується з використанням кластерного і факторного методів аналізу.

Щодо часового прогнозу, на даний час перспективним вважається прогноз часу активізації ЕГП, що базується на уявленні про ритмічність природних явищ, у тому числі провальньо-осідальних проявів карсту, на території Земної кулі або окремих її частин. Визначення основних періодів квазігармонічних часових коливань активізації карстових процесів, а також параметрів, які ініціюють цю активізацію, тобто встановлення ритмів, виконується за допомогою автокореляційного аналізу, а за необхідності виявлення всіх гармонік і оцінки їхнього внеску у формування коливань виконується спектральний аналіз. Також розраховуються функції взаємної кореляції для встановлення зв'язку ритмів активізації поверхневого карсту і факторних характеристик. Це дає змогу оцінити величини зміщення у часі окремих факторів з метою досягнення синфазності основних гармонік.

Коефіцієнти інформативності (значимості) визначають з метою підтвердження правильності вибору факторів і визначення інформативно-

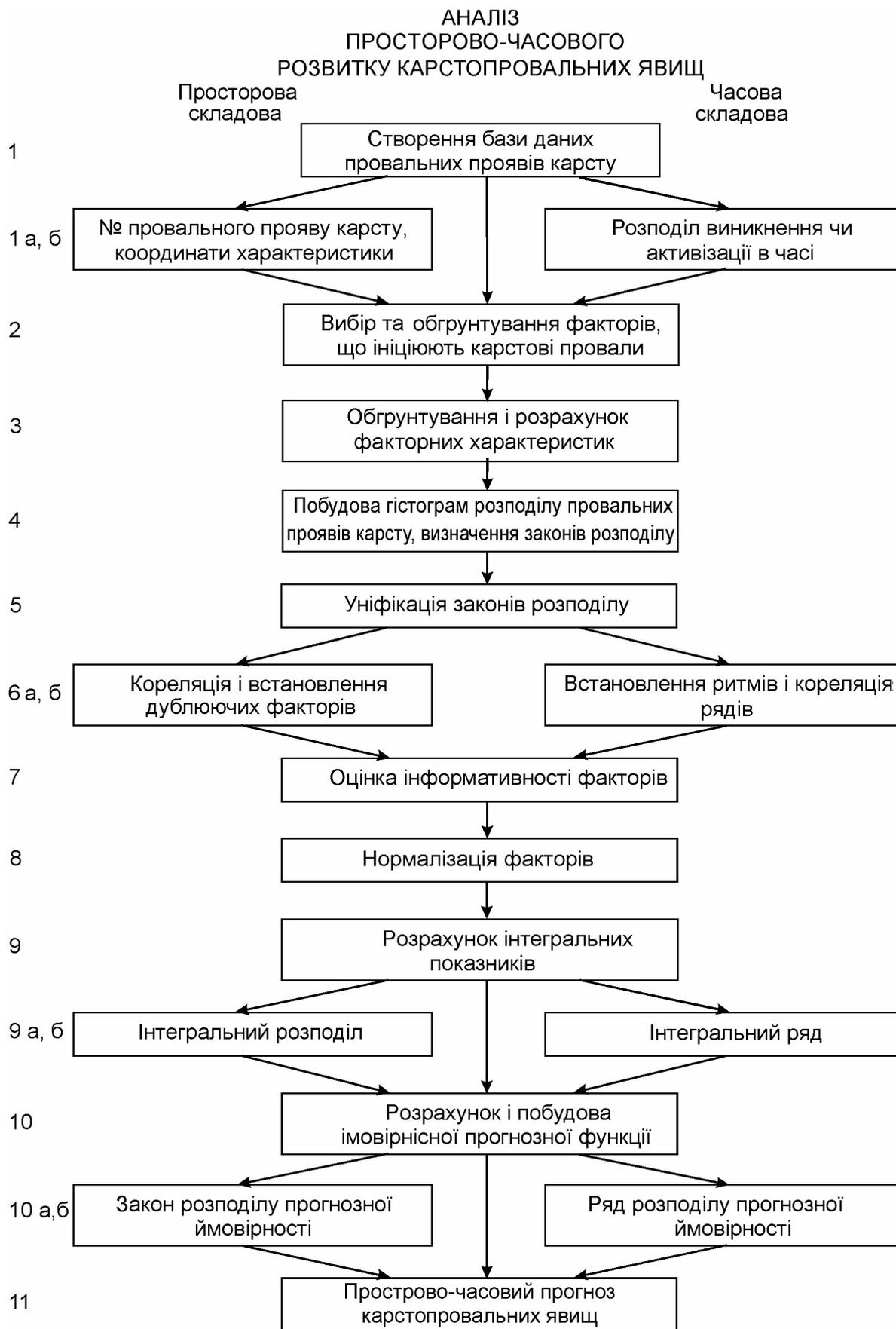


Рисунок 1 – Алгоритм дослідження просторово-часового розвитку карстопровальних явищ

сті кожного з них. Розрахункова формула – це відома формула для зведеного загального коефіцієнта кореляції.

Процедура нормалізації має за мету трансформувати величин факторних характеристик, виражених у фізичних величинах, отриманих з аналізу карт або рядів їхнього розподілу (метр відстані, метр висоти, міліметр суми опадів, джоуль енергії землетрусів і ін.) у безрозмірні показники контрастності, з якими далі можна проводити математичні операції.

Розрахунок інтегрального показника факторних характеристик для кожного i -го провального прояву карстових процесів виконується за формулою

$$P_{\Sigma_i} = \sum_{j=1}^k P_{ij} \times V_j, \quad (1)$$

де: P_{ij} – нормалізовані значення просторових факторних характеристик; V_j – вагові коефіцієнти інформативності j -го фактора для i -го провального прояву карсту, k – кількість просторових факторів.

Розподіл інтегрального показника P_{Σ_i} ілюструється уніфікованою гістограмою, яка, відповідно до попереднього аналізу, повинна підпорядковуватись нормальному закону.

Оцінка суми часових факторів, які ініціюють ризик провального прояву карсту, визначається за функцією комплексного показника часових факторів:

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^m X_{ij}^{норм} \cdot V_j, \quad (2)$$

де: m – кількість часових факторів, i – рік спостережень, $X_{ij}^{норм}$ – нормалізоване значення j -го фактора в i -му році, V_j – ваговий коефіцієнт інформативності j -го фактора.

Розподіл інтегрального показника Φ_i ілюструється часовим рядом цього показника. Сумація відбувається для синхронізованих рядів.

Об'єктивною кількісною оцінкою можливості виникнення або активізації карстопровальних процесів є ймовірність його прояву. Таким чином, наступним завданням є встановлення закономірного зв'язку між ймовірністю виникнення карстового прояву й ймовірністю його небезпеки.

Для просторової складової ця процедура виконується шляхом розрахунку еталонної функції ймовірності, а для часової складової – шляхом розрахунку еталонного ймовірнісного ряду.

Результуюча функціональна формула, що характеризує ймовірність виникнення або активізації карстопровальних процесів $P(x, y, t)$ у просторі (точка на поверхні Землі з координатами x, y) і в часі t виглядатиме так:

$$P(x, y, t) = P_1(x, y) \times P_2(t) = P_1(P_{\Sigma_i}) \times P_2(\Phi_i), \quad (3)$$

де: $P_1(x, y)$ – ймовірність розвитку поверхневих проявів карсту в просторі; $P_2(t)$ – ймовірність розвитку поверхневих проявів карсту на час t ; i – номер точки спостереження з координатами x, y ; P_{Σ_i} – значення інтегрального показника

просторових факторів; Φ_i – значення функції інтегрального показника часових факторів активізації карсту.

Для досліджень розвитку карстопровальних процесів обрано територію розміром 50×65 км (Львівська область), у межах якої зареєстровано 3549 карстопоявів (карстових лійок). Дана територія характеризується інтенсивним розвитком карбонатного (1285 лійок) і сульфатного (2264 лійок) видів карсту. Природні умови території сприяють розвитку карстових процесів.

Досліджувана територія розташована в межах крупних геоструктурних регіонів – Східно-Європейської платформи і Передкарпатського прогину. Розглянута територія побудована крейдовими, неогеновими і четвертинними відкладами. Верхньокрейдіві відклади поширені повсюдно, залягають на глибині від 40 до 200 м. Це кварцево-вапняковисті пісковики із глауконітом, піщанисті мергелі, рідше глини й глинисті вапняки. На крейдових відкладах залягають неогенові породи, представлені в нижній частині глинистими пісками й пісковиків потужністю від 0 до 32 м (баранівський горизонт). Вище лежить нараєвський горизонт, складений литотамнієвими вапняками із прошарками пісків і пісковиків. У північно-східній частині горизонт виходить на денну поверхню або залягає під четвертинним покривом. На південно-заході він занурюється на глибину до 200 м. Потужність горизонту від 1-3 до декількох десятків метрів. На літотамнієвих вапняках нараєвського горизонту залягає дістровський горизонт, складений гіпсангідритами, що разом із залягаючими у його покрівлі ратинським горизонтом, складеним пелітоморфними й кристалічними вапняками, утворюють тираську світу, яка є основним середовищем розвитку карсту даної території. Гіпсоангідритовий горизонт має потужність від декількох до 35-50 м. Гіпсоангідрити перекриті глинисто-піщаною товщею потужністю до 20-30 м [14].

На території досліджень виявлено велику кількість тектонічних порушень, що значно сприяє карстоутворенню, враховуючи їхню дренажну дію, а також підвищену тріщинуватість порід в прилягаючих до розломів ділянках.

У гідрогеологічному відношенні досліджувана територія відноситься до Волино-Подільського артезіанського басейну платформного типу та Передкарпатського артезіанського басейну. Для артезіанського басейну в цілому характерне поширення карстово-тріщинних колекторів з локальним розвитком послідовно залягаючих водоносних горизонтів і комплексів. У структурно-гідрогеологічному відношенні зона зчленування платформи із прогином являє собою моноклінальний артезіанський схил із загальним напрямком стоку на захід-південний захід-південь.

Відклади косівської світи й сармату (глинисті відклади) утворюють слабопроникну товщу, що розділяє водоносні комплекси четвертинних і міоценових відкладів. У регіональній гідрогеології, зазвичай, виділяються два

водоносних горизонти в міоценовій товщі: "підгіпсовий" у нижньобаденських литотамнієвих вапняках, пісках і пісковиках і "надгіпсовий" у ратинських і епігенетичних вапняках і низах косівської світи. Таким чином, горизонт гіпсангідритів повинен виступати водоупором, що відмічається більшістю дослідників. Але в сучасних працях окремих науковців вказується на тісний гідравлічний зв'язок між підгіпсовим і надгіпсовим водоносним горизонтами. Причому, в умовах напірного водоносного комплексу відбувається висхідний рух вод з напірного підгіпсового водоносного горизонту в надгіпсовий. Таким чином формування існуючої глибинної закарстованості тираської світи можна пояснити з точки зору артезіанської теорії спелеогенезу [14].

Таким чином, враховуючи існування тісного гідравлічного зв'язку між надгіпсовим і підгіпсовим водоносними горизонтами у вапняках, а також існування мережі тектонічних порушень недоцільно розглядати карстопровальні прояви сульфатного і карбонатного карсту окремо (в крайньому випадку в регіональному масштабі, в якому проводяться дані дослідження). Далі це доведено одномодальністю законів розподілу факторів.

Загальновідоме визначення основних умов утворення карсту, дане Д.С.Соколовим [4]: «Будучи одним з геологічних процесів, карст завжди розвивається там, де існує одночасна присутність таких чотирьох умов: розчинність гірських порід, їх водопроникність, рухомих вод і їх розчинної здатності». У кожному окремому випадку сукупність основних умов розвитку карсту характеризується великою різноманітністю. Вона залежить від багатьох факторів і змінюється в часі, визначаючись для кожної території її геологічною історією. Наведено чотири умови виникнення і розвитку карсту є обов'язковими і необхідними, але процес карстоутворення пов'язаний з низкою природних процесів та явищ, які забезпечують виникнення зазначених умов.

Для забезпечення усестороннього розгляду процесу утворення карстових лійок розглядалась максимальна доступна кількість факторів. Виходячи з теоретичних уявлень про процес утворення карстових проваль, а також з об'єктивності впливу чинників в регіональному масштабі, для статистичної обробки розраховано кількісні характеристики в точках карстопроявів для таких ймовірних чинників карстоутворення:

геологічні – літологічний склад четвертинних відкладів, геологія дочетвертинних відкладів, відстань до тектонічного порушення;

геофізичні – значення гравітаційного поля в редуції Буге;

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

гідрогеологічні – рівень ґрунтових вод, водопровідність четвертинних відкладів, водопровідність неогенових відкладів, глибина водоупорів у 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 попереднього статистичного аналізу обрано 25 факторів. Відбраковування факторів здійснювалась у такій послідовності:

1) побудовою законів розподілу параметрів з перевіркою їх на відповідність нормальному закону розподілу або закону розподілу, що містить експоненту (тобто приводиться до нормального закону розподілу логарифмуванням);

2) кластерним аналізом;

3) факторним аналізом.

Проведений аналіз на відповідність розподілів факторних характеристик теоретичним законам розподілу дав змогу вилучити з подальших досліджень параметри – водопровідність четвертинних відкладів та кут нахилу денної поверхні, оскільки ці фактори мають невелику градацію та навіть після логарифмування не відповідають нормальному закону розподілу (коефіцієнт Колмогорова-Смірнова для водопровідності четвертинних відкладів рівний 0,353, а кута нахилу денної поверхні 0,192).

Щодо хімічного складу підземних вод, отримані результати підтверджують закономірності, описані в класичній літературі з карсту, однак через нестачу інформації дані про хімічний склад вилучені з подальших розрахунків.

Результати кластерного і факторного аналізу виявили групи споріднених факторів. Очікувано пов'язаними між собою виявилась група факторів «гідроізогіпси четвертинного водоносного горизонту – гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту – абсолютна висота над рівнем моря точки карстопрояву – рівень ґрунтових вод», а також група факторів « R_i зон із різною потужністю водоупорів в товщі четвертинних відкладів – R_i зон із різною потужністю водоупорів у товщі міоценових відкладів – потужність порід до першого від поверхні водоупору».

У результаті з 25 розглянутих просторових факторів до розгляду остаточно прийнято 13.

Виходячи з теоретичних уявлень про процес карстоутворення для досліджень розподілу активізації карсту в часі доцільно використовувати річні ряди активізації карсту та обумовлених його факторів: річної кількості опадів, середньорічної температури, сонячної активності (ряд чисел Вольфа), енергії землетрусів, рівень ґрунтових вод.

Зв'язок обраних факторів і ступінь їхнього впливу на процес виникнення карстопровальних форм визначається за допомогою методів

Таблиця 1 – Імовірні теоретичні закони розподілу для окремих параметрів (результати аналізу з використанням D-критерію Колмогорова-Смірнова)

№ з/п	Параметр	Теоретичний закон розподілу	Характеристики закону розподілу*
1	Гравітаційне поле в редуції Буге	Нормальний	$\mu = -56,566 \quad \delta = 3,115$
2	Відстань до тектонічного порушення	Гамма	$b = 861,857 \quad C = 1,476$
5	Відстань до базису ерозії	Екстремальний	$a = 251,103 \quad b = 242,117$
6	Водопровідність неогенових відкладів	Гамма	$b = 176,428 \quad C = 0,725$
7	Потужність першого від поверхні водоупору	Екстремальний	$a = 6,831 \quad b = 1,003$
8	Потужність четвертинного водоносного горизонту	Нормальний	$\mu = 3,577 \quad \delta = 2,793$
9	Потужність міоценового водоносного горизонту	Нормальний	$\mu = 15,204 \quad \delta = 9,072$
10	Відстань до населеного пункту	Екстремальний	$a = 259,320 \quad b = 438,209$
11	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)	Нормальний	$\mu = 4074,400$ $\delta = 1849,354$
12	Відстань до найближчого карстопрояву	Екстремальний	$a = 95,871 \quad b = 79,680$
13	Глибина залягання рівня міоценового водоносного горизонту	Нормальний	$\mu = 18,251 \quad \delta = 13,066$

* – характеристики (параметри) теоретичних законів розподілу ймовірності значень випадкових величин, рівняння яких наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Рівняння теоретичних законів розподілу ймовірності значень випадкових величин

Закон розподілу	Рівняння
Нормальний	$f(x) = \frac{1}{\delta \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2 \cdot \delta^2}\right)$
Гама	$f(x) = \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left(-\frac{x}{b}\right) \cdot \left(\frac{1}{b} \cdot \Gamma(c)\right)$
Екстремальний	$f(x) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left(-\frac{x-a}{b}\right) \cdot \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right)$

статистичного аналізу. Послідовність аналізу відповідає алгоритму, наведеному на рис. 1.

З метою проведення подальших аналізів і процедур за допомогою непараметричного D-критерію Колмогорова-Смірнова визначені найбільш імовірні теоретичні закони розподілу параметрів, визначених для зареєстрованих карстопроявів експериментальної ділянки (табл. 1).

Після логарифмування та нормалізації проведені процедури кластерного та факторного аналізу для встановлення взаємопов'язаних факторних характеристик.

Окремим етапом досліджень є оцінка внеску (коефіцієнта інформативності) окремих параметрів у процес виникнення поверхневих карстових форм.

Наступним найбільш важливим етапом є розрахунок інтегрального показника, закономірно пов'язаного з розподілом карстових провалів (формула (1)).

Розподіл, представлений на рис. 2, з високим ступенем вірогідності відповідає нормальному теоретичному розподілу ймовірності

нормалізованих значень випадкової величини (D-критерій Колмогорова-Смірнова = 0,05).

Очевидно, що оптимальні умови для утворення карстових провалів настають тоді, коли значення ймовірності розподілу комплексного інтегрального показника, що враховує вплив факторів різної природи, досягає свого максимуму.

Оцінка комплексної дії сукупності природних часових факторів на процеси утворення карстових провалів відображається у величині комплексного інтегрального показника факторів з подальшим визначенням розподілу ймовірності цього показника в часі, екстраполяція якого розглядається як прогнозний розподіл ймовірності активізації карстопровальних явищ. Послідовність досліджень відповідала алгоритму, наведеному на рис. 1.

За результатами автокореляційного і спектрального аналізу для ряду активності карстопроявів чітко виділяються 5- та 10-річні періодичні складові, для ряду чисел Вольфа домінуючою є гармоніка 10 років, ряду річної кількості опадів – 5 і 10 років. Найбільший внесок у

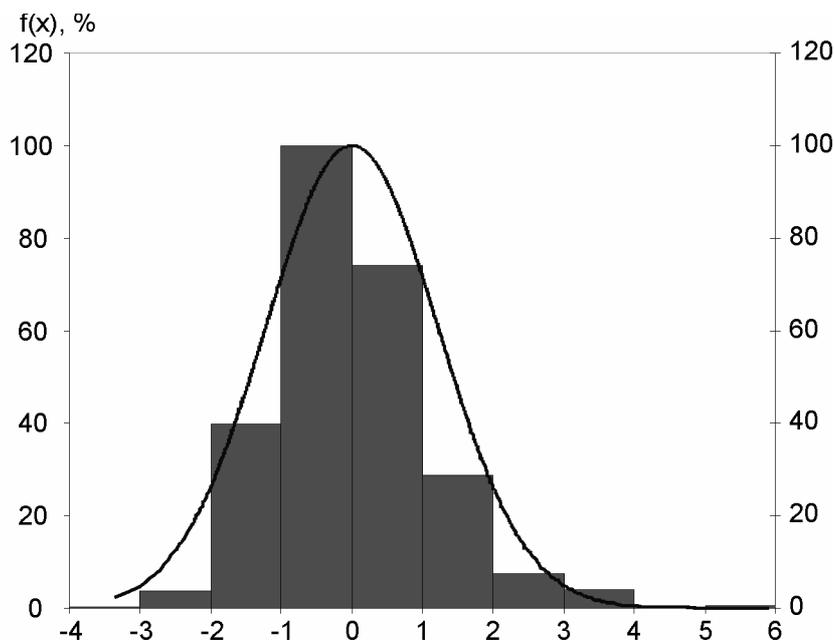


Рисунок 2 – Гістограма інтегрального показника утворення карстових проваль, розрахованого з урахуванням всіх параметрів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності для карстових проявів території досліджень

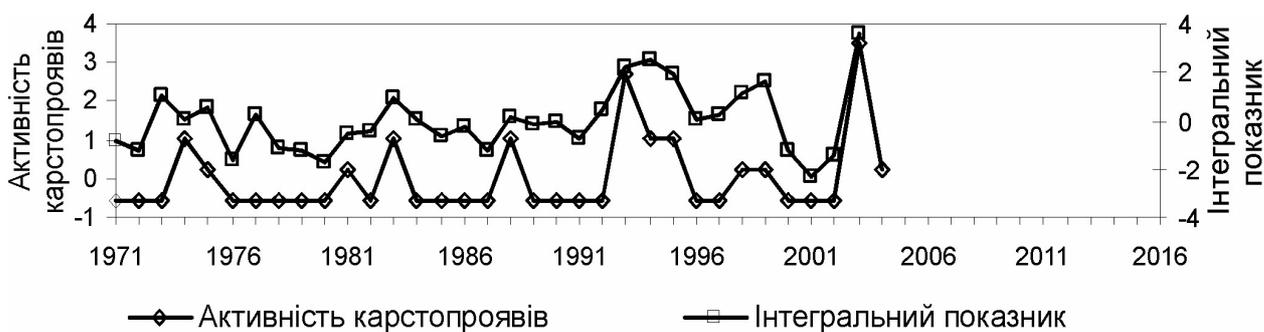


Рисунок 3 – Фактичні ряди активності карстопроявів та інтегрального показника

ряд логарифмів енергії землетрусів дають періодичні складові 10-12 років і 4-5, у ряд рівнів ґрунтових вод 10-13 і 4-5 років. Для ряду середньорічної температури можна відзначити гармоніки з періодами 8, 5,5 і 4 роки. Отже, як по карсту, так і по всіх факторах крім сонячної активності, у часових рядах відзначаються однорічні ритми в 5 років. По карсту й по всіх факторах без винятку відзначається ритм періодичністю 10 років. Гармоніки з цими періодами надалі вважаємо домінуючими.

Розрахунок функції взаємної кореляції показав, що для ряду чисел Вольфа спостерігається зміщення 3 роки назад стосовно ряду активності карсту, а для ряду енергії землетрусів – 1 рік назад. Значення функції взаємної кореляції для пари рядів кількість карстопроявів – річна кількість опадів свідчать, що ці ряди перебувають у протифазі.

Усі фактори відіграють приблизно однакову роль в ініціюванні карстопровальної небезпеки, домінування якогось одного фактора відсутнє.

Заключним етапом є розрахунок прогнозного інтегрального параметра, отриманого

шляхом сумування рядів нормалізованих значень параметрів з урахуванням їх інформативності. Графіки розрахованого інтегрального показника з нанесеним рядом карстопроявів зображені на рисунку 3.

Реалізація просторово-часового прогнозу здійснюється відповідно до формули (3) підстановкою ймовірностей просторового і часового розвитку провальних проявів карсту шляхом побудови карти ймовірності просторового інтегрального показника розвитку карстопровальних явищ. На рисунку 4 зображена прогнозна карта карстопровальної небезпеки для експериментальної території на рік максимальної карстопровальної небезпеки – 2014.

Візуальний аналіз графіків дає підстави стверджувати про їхню істотну кореляцію – значення коефіцієнта кореляції між згладженим рядом ФКП при попередньому згладжуванні рядів факторів і рядом карстопроявів складає 0,774.

Результати прогнозу узагальнені у табл. 3. З огляду на фактичний ряд у 33 роки (1971-2003), прогноз зроблений на $33/2 \approx 17$, тобто по 2020 р. Прогнозні ряди, побудовані за різними

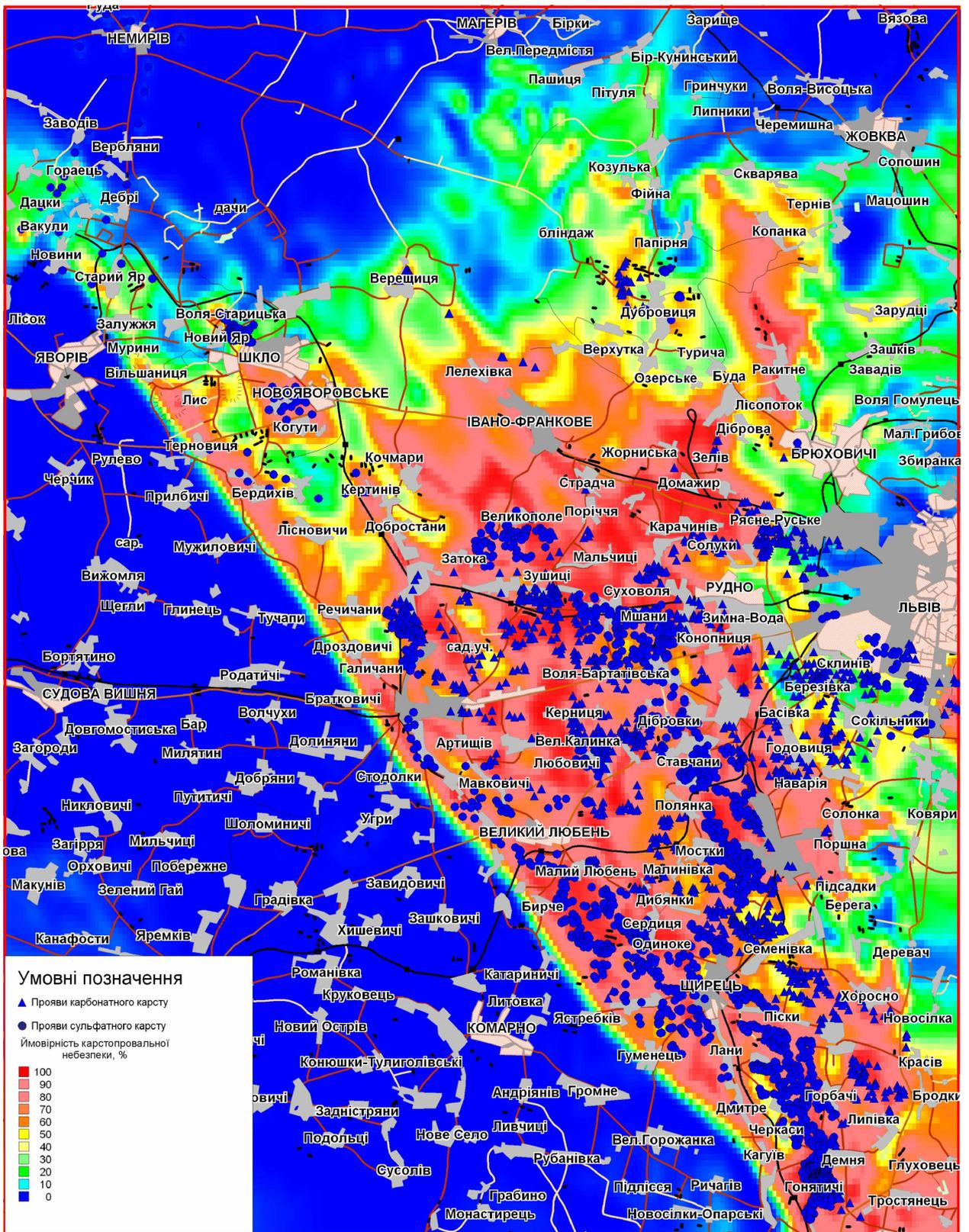


Рисунок 4 – Прогнозна карта ймовірності розвитку провальних проявів карсту на території досліджень

методиками, збігаються між собою в ритмічності та в істотності значень ймовірності карстопроявів.

Формула (3) аналітично виражає закономірний зв'язок між величинами ймовірностей розвитку приповерхневого карсту в карбонат-

них і сульфатних породах і карстопровальній небезпеці при комплексному впливі природно-техногенних факторів, який полягає в тому, що ймовірність активізації розвитку карсту в карбонатних і сульфатних породах з виникненням провалів на поверхні Землі визначається вели-

Таблиця 3 – Результати часового прогнозу карстопровальних процесів

Процедура прогнозу	Прогнозні роки максимуму карстопровальної небезпеки	Максимальна ймовірність карстопровальних проявів
Екстраполяція за осередненою кривою	2013-2015	0,88
Екстраполяція повним рядом Фур'є (з урахуванням всіх гармонік)	2016	0,76
Екстраполяція рядом Фур'є (з урахуванням основних гармонік)	2012-2013	0,52
	2016-2018	0,99
Екстраполяція за допомогою функції передбачення predict (вбудована функція екстраполяції в MathCAD)	2013	0,86
	2018	0,70
Екстраполяція лінійної комбінацією синусоїд з основними періодами, рівними половині періоду (5 і 10 років)	2013-2014	0,93
	2018-2019	0,78

чиною ймовірності інтегрального показника карстопровальної небезпеки, розрахованого за еталонними характеристиками статистичних розподілів просторово-часових карстоініціюючих факторів для даного району місцевості.

Наступним етапом розвитку даних досліджень може стати створення системи комплексного просторово-часового прогнозування карстових процесів. Система уможливить виконання просторового, часового або просторово-часового прогнозу розвитку й активізації карстопровальних процесів. Наведений алгоритм є основою побудови прогнозних карт карстопровальної небезпеки з використанням комплексу просторових і часових факторів.

ВИСНОВКИ

1. Активний розвиток та значне поширення поверхневих карстових проявів територією України свідчить про необхідність довгострокового регіонального прогнозу цих процесів у часі і просторі. Проведений аналіз існуючих методик стосовно просторово-часового прогнозу розвитку карсту свідчить, що прогноз повинен здійснюватись на основі врахування просторових і часових чинників.

2. За результатами проведених теоретичні досліджень можна запропонувати такий алгоритм досліджень просторово-часових закономірностей розвитку карстопровальних процесів: формування бази даних карстових проявів, обґрунтування і вибір факторів процесу карстоутворення, визначення законів розподілу факторних характеристик, уніфікація законів розподілу, встановлення дублюючих факторів, оцінка інформативності факторів, розрахунок інтегральних показників, розрахунок прогнозної ймовірнісної функції.

3. Під час прогнозування карстопровальних явищ доцільно використовувати комплекс значущих за характером впливу просторових і часових факторів. В якості просторових карстоініціюючих чинників обрано геологічні (поши-

рення геологічних горизонтів, літологічний склад четвертинних відкладів), геоморфологічні (базис ерозії, найближчий поверхневий прояв карсту), гідрогеологічні (водопровідність неогенових відкладів, поширення водоупорів, четвертинний водоносний горизонт, міоценовий водоносний горизонт, глибина рівня підземних вод), тектонічні (тектонічні порушення), геофізичні (гравітаційне поле Землі), техногенні (наявність населених пунктів, наявність ділянок порушення геологічного середовища). Як часові карстоініціюючі чинники, згідно літературних даних та уявлень про перебіг карстового процесу, обрано геофізичні (числа Вольфа, енергія землетрусів), метеорологічні (річна кількість опадів та середньорічна температура), гідрогеологічні (коливання рівня ґрунтових вод).

4. Просторовий прогноз карстопровальної небезпеки здійснюється на основі виявленого закономірного зв'язку просторових карстоініціюючих факторів з просторовим розподілом карстопоявів. Часовий довгостроковий прогноз розвитку екзогенних геологічних процесів, і карсту зокрема, повинен базуватись на гіпотезі про закономірну повторюваність природних процесів. За результатами статистичного аналізу можна стверджувати про наявність ритмічності як у ряді активізації карстопоявів, так і у геофізичних, метеорологічних, гідрогеологічних групах факторів.

5. Кінцевим результатом досліджень закономірності просторових і часових чинників активізації карстопровальних процесів є розрахунок комплексних інтегральних просторових і часових показників утворення поверхневих карстопоявів, які на кількісному ймовірнісному рівні враховують сумарну дію факторів карстоутворення. Просторовий прогноз поверхневих проявів карсту здійснюється шляхом побудови карти розподілу ймовірності просторового інтегрального показника. Часовий прогноз здійснюється на основі екстраполяції еталонного ймовірнісного ряду різними способами.

Найближчим часом масової активізації провальних проявів природного сульфатно-карбонатного карсту на Передкарпатті, згідно нашого прогнозу, слід вважати 2013-2014 роки.

Зазначені дослідження є основою для створення географічної інформаційної системи по прогнозу карстопроальної небезпеки для уражених карстом територій.

Література

1 Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році [Текст] / Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. – К.: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2009. – 230 с.

2 Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році [Текст] / Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. – К.: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2006. – 242 с.

3 Экологическая геология Украины: [Справочное пособие] / Е.Ф. Шнюков, В.М. Шестопалов, Е.А. Яковлев — К.: Наук. думка, 1993. – 407 с.

4 Соколов Д.С. Основные условия развития карста [Текст] / Д.С. Соколов – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 321 с.

5 Максимович Г.А. Основы карстования: в 2 т. / Г.А. Максимович. – Пермь: Пермское книж. изд-во, 1963; 1969. – 444с.; 529 с.

6 Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика / Н.А. Гвоздецкий. – М.: Мысль, 1972.– 391 с.

7 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.

8 Попов И.В. Инженерная геология / И.В. Попов. – Москва: Госгеолотехиздат, 1951. – 444 с.

9 Методы долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов / [Под ред. А.И. Шеко и В.С. Круподерова]. – М.: Недра, 1984. – 167 с.

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

11 Кутепов А.Д. Устойчивость закарстованных территорий / А.Д. Кутепов, В.Н. Коженикова. – М.: Наука, 1989.– 152 с.

12 Гайдін А.М. Сульфатний карст та його техногенна активізація (на прикладі Карпатського регіону України) / А.М. Гайдін, Г.І. Рудько. – К.: Товариство «Знання» України, 1998. – 76 с.

13 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”. – К.: Київський національний університет, 2007. – С. 16-17.

13 Климчук А.Б. Роль спелеогенеза в формировании серных месторождений Предкарпатья [Текст] / А.Б. Климчук – Симферополь: ДИАИПИ, 2008.– 64 с.

*Стаття поступила в редакційну колегію
10.07.09*

*Рекомендована до друку професором
Е. Д. Кузьменком*