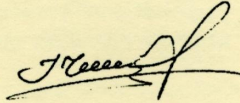


551.44(043)  
Ч - 44

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Чепурний Ігор Валерійович**



УДК 551.435.82

**ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ПРОВАЛЬНО-  
ПРОСАДКОВИХ ПРОЯВІВ СУЛЬФАТНОГО І КАРБОНАТНОГО КАРСТУ В  
НЕОГЕНОВИХ ВІДКЛАДАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ  
(на прикладі території Львівської області)**

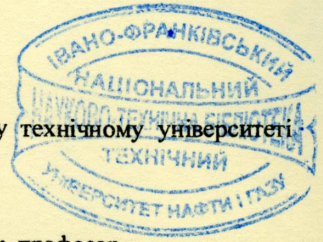
Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата геологічних наук

Івано-Франківськ - 2009

Дисертацією є рукопис.



Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
**Кузьменко Едуард Дмитрович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики.

**Офіційні опоненти:** доктор геологічних наук, старший науковий співробітник  
**Долін Віктор Володимирович**, Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, завідувач відділу біогеохімії;

доктор технічних наук, професор  
**Семчук Ярослав Михайлович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності.

Захист спеціалізованого технічного дисертації  
76019, м. Івано-Франківськ

З дисертації спеціалізованого технічного дисертації  
76019, м. Івано-Франківськ

Автореферат дисертації

Учений спеціаліст  
кандидат наук

на засіданні спеціалізованого технічного дисертації

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

ІН

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** До небезпечних екзогенних геологічних процесів належать карстові процеси. Ділянки, що уражені карстом, займають значну площу, яка щороку збільшується, завдаючи значних збитків. Згідно Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні за 2005-2008 роки на території України зареєстровано понад 26000 поверхневих та підземних карстопроявів. 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 (7,60%), Хмельницька (2,91%) області. На даний час відомі дослідження розвитку карсту, які обмежуються констатацією форм розвитку та побудовою карт ураженості, які розглядаються як прогностичні. Тому актуальним є питання дослідження зв'язку процесів карстоутворення з геологічними, гідрогеологічними, тектонічними, геоморфологічними, геофізичними, метеорологічними просторовими і часовими чинниками, встановлення відповідних закономірностей для розробки системи довгострокового прогнозування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана робота виконувалась у межах науково-дослідної роботи ДНВП “Геоінформ України” “Узагальнення матеріалів інженерно-геологічного довивчення території України з метою підготовки геологічного забезпечення протизсувних заходів та Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій на державному рівні” (державний реєстраційний номер 03U006462). Автор приймав участь у виконанні роботи за темою “Розробка та створення системи прогнозування активізації екзогенних геологічних процесів (ЕГП) у складі УІАС НС”, яка виконувалась в ІФНТУНГ у 2003-2008 рр. за замовленням ДНВП “Геоінформ України”, за складовою зазначеної вище НДР. Необхідність таких робіт диктується Постановою Кабінету Міністрів України від 16.12.99 №2303 “Про створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій”.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є встановлення закономірностей розвитку карстопроявних процесів у залежності від карстоініціюючих чинників для подальшого довгострокового прогнозування провально-просадкових проявів сульфатно-карбонатного карсту на прикладі території Передкарпаття.

Для досягнення поставленої мети були виокремлені наступні завдання:

- провести аналіз сучасних досліджень у частині прогнозування карстових процесів;
- обґрунтувати вибір просторових і часових чинників утворення провально-просадкових форм сульфатно-карбонатного карсту та визначити закономірності їх розподілу;
- визначити інтегральний параметр карстопроявальної небезпеки на кількісному ймовірнісному рівні;
- побудувати карти та графіки просторового та часового довгострокового прогнозу розвитку карстопроявних форм.

**Об'єкт дослідження** – провально-просадкові прояви сульфатного і карбонатного карсту.

НТБ  
ІФНТУНГ



an2079



**Предметом дослідження є методи довгострокового прогнозування розвитку провальні-просадкових проявів сульфатного і карбонатного карсту.**

**Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:**

- уперше визначено та обгрунтовано просторові і часові геологічні, гідрогеологічні, геоморфологічні і геофізичні фактори карстопровальних процесів та введено поняття факторних характеристик як чисельної кількісної міри дії факторів. Установлено закономірності розподілу визначених факторних характеристик, що для просторових факторів проявляються в підпорядкованості їх статистичним законам розподілу, а для часових – у наявності узгоджених ритмічностей в їхніх рядах;

- уперше для кількісної оцінки провальні-просадкових проявів карсту запропоновано використовувати інтегральні показники карстопровальної небезпеки, які визначаються за еталонними характеристиками статистичних розподілів просторово-часових карстоініціюючих факторів і закономірно відображають їх комплексний вплив. Обгрунтовано можливість розрахунку інтегральних показників і визначено шлях переходу до ймовірностей карстопровальної небезпеки в якості прогнозного критерію;

- уперше виконано довгостроковий прогноз активізації розвитку провальні-просадкових проявів сульфатно-карбонатного карсту для обраної експериментальної території в межах Передкарпаття у Львівській області. Основою побудови прогнозної карти та прогнозних рядів стали інтегральні показники, а можливість активізації карстопровальних процесів у часі та просторі визначена на кількісному імовірнісному рівні.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що вони відкривають нові можливості створення геоінформаційної системи просторово-часового прогнозування розвитку карстопровальних явищ.

Матеріали дослідження впроваджені та апробовані в ДНВП “Геоінформ України”, ДП “Західукргеологія” НАК “Надра України” та в Управлінні з питань надзвичайних ситуацій Львівської облдержадміністрації, що підтверджується відповідними актами. У перспективі алгоритм досліджень і система прогнозування можуть бути адаптовані на всіх площах розвитку карсту в Україні та впроваджені на підприємствах Державної геологічної служби України.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем особисто вивчено, проаналізовано та узагальнено геологічні матеріали по карстопровальних процесах і факторах їх активізації. Проведено аналіз просторових закономірностей розподілів параметрів і часових рядів чинників утворення провальні-просадкових форм сульфатно-карбонатного карсту та даних по карстопроявах. Здійснено просторовий і часовий регіональні прогнози розвитку карстопровальних явищ для обраної ділянки на території Львівської області. Основні ідеї, наукові положення і теоретичні висновки дисертації сформульовані здобувачем особисто.

Основні результати досліджень відображені в публікаціях [1-10]. Роботи [1-4, 6-10] опубліковані в співавторстві. У [1] автору належить статистичний аналіз часових чинників зсувних та карстових процесів, роботи [2, 6]

присвячені розгляду зв'язків між сейсмічною та сонячною активностями, де автору належить визначення закономірних зв'язків між цими чинниками активізації екзогенних геологічних процесів, куди відносяться і карстові. У працях [3, 4, 7-10] автору належить комплекс досліджень, починаючи з систематизації вихідних матеріалів чинників карстових провалів і закінчуючи встановленням закономірностей просторово-часового розвитку карстових провалів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідались на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях: VI Міжнародній науковій конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”, (м. Київ, 6-8 жовтня 2005 р.), Всеукраїнській науковій конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”, (м. Київ, 21-24 вересня 2006 р.), Міжнародній науковій конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”, (м. Київ, 20-23 вересня 2007 р.), VII Міжнародній конференції “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти”, (м. Київ, 25–28 березня 2008 р.), XIV Міжнародному симпозиумі «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології», (м. Алушта, 8-13 вересня 2009 р.).

**Публікації.** Основні положення, викладені у дисертації, опубліковані у 10 друкованих наукових виданнях, в тому числі 5 статтях у фахових виданнях, рекомендованих ВАК України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна роботи складається із вступу, п'яти розділів, додатків. Повний обсяг дисертації – 146 сторінок, з них 14 додатків на 14 сторінках. Дисертація містить 46 рисунків, 19 таблиць і посилання на 123 літературних першоджерел на 14 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовується актуальність теми, сформувано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну і практичну значимість, а також результати апробацій і реалізації основних положень роботи.

У першому розділі на основі літературних джерел розглянуто проблему розвитку природних і природно-техногенних процесів у світі і в Україні. Детально охарактеризовано карстові процеси як одне з джерел 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. Геологічні надзвичайні ситуації становили в 2008 році 6% від загальної кількості надзвичайних ситуацій природного характеру. Щодо частки карсту в сукупності надзвичайних ситуацій геологічного характеру, 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.

В Україні карстовими процесами охоплено понад 35% території. Основним негативним наслідком карстового процесу є, передусім, можливий розвиток провальньо-просадкових деформацій. Якщо в 1960-х роках в Україні було відомо 109 провальньо-просадкових деформацій поверхні, які виникли у зв'язку з господарським

освоєнням території (Донбас, Гірський Крим, Полісся), то на початку 1980-х років, лише у межах 10 ділянок високого техногенного навантаження нараховувалось більше 2000 таких деформацій.

Дослідженням екзогенних геологічних процесів і карстових процесів зокрема приділяється значна увага, про це свідчить велика кількість публікацій, серед яких варто відзначити роботи вітчизняних та зарубіжних науковців: О.М. Адаменка, В.Н. Андрейчука, А.М. Гайдіна, С.В. Гошовського, О.Б. Климчука, Г.І. Рудька, D. Ford, W. Dreybrodt, A. Palmer, E. White, W White та ін.

Фундаментальними працями, в яких широко висвітлено проблему карсту як геологічного явища є роботи Д.С.Соколова, Г.А. Максимовича, Н.А. Гвоздецького. У подальших дослідженнях вітчизняних вчених зроблено спроби розробки методики прогнозування карстових процесів. Хоча в них і є 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 та із розрахунком ураженості територій для цих одиниць. Сучасні роботи з часового прогнозування пропонують комплекс класичних статистичних методів, спеціалізованих евристичних процедур і адаптивних статистичних методів. Для ритмічних процесів, до яких відносяться карстові, рекомендуються гармонійний і спектральний аналіз. Ці рекомендації досі залишались нездійсненими.

Про актуальність вивчення та прогнозу провальних-просадкових проявів карсту свідчить велика кількість закордонних публікацій, що присвячені цій проблемі, а також значна кількість міжнародних конференцій, тематики яких охоплюють різні проблеми карстології, спелеології, морфології і генезису карсту та ризиків, пов'язаних із розвитком карстових процесів.

Із зазначеного огляду випливає: 1) при актуальності питання науково обґрунтованих систем прогнозування карстових процесів на сьогодні не існує; 2) необхідним є вирішення задачі встановлення закономірного зв'язку чинників карстоутворення з просторово-часовим розподілом карсту з метою створення довгострокового регіонального прогнозу.

У **другому розділі** обґрунтовуються теоретичні та методичні засади прогнозування карстопровальних процесів, які відображаються на земній поверхні.

На основі вивчення механізму утворення карстових провалів та емпіричних залежностей, які пов'язують карстові провали з критичною глибиною залягання карстових порожнин (А.Д. Кутепов, В.Н. Кожевникова, 1989) і які враховують геологічні та гідрогеологічні умови території (А.М. Гайдін, 1983), можна зробити ряд висновків про можливість використання карстових ліжок як кількісної міри інтенсивності розвитку карсту:

- 1) провальні лійки є основною формою прояву карсту;
- 2) кількість провальних ліжок однозначно пов'язана з інтенсивністю розвитку карсту;
- 3) кількісні критерії зв'язку можливості утворення ліжок і основних умов розвитку карсту не підлягають прямому масовому визначенню і не є доступними виходячи з інформації, що отримується з матеріалів топографічних, геологічних,

інженерно-геологічних і інших даних;

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

Алгоритм дослідження полягає в послідовності реалізації дій, зображених на рис. 1. Зображена на рисунку схема досліджень наслідує універсальний алгоритм прогнозування екзогенних геологічних процесів, запропонований Е.Д. Кузьменком (2008). Комплекс просторових і часових факторів вибирається з наступних міркувань: забезпечення представництва всіх груп факторів; залежність частоти зустрічі карстових проявів від розподілу факторних характеристик, розподіл факторних характеристик підпорядковується одному з статистичних законів; фактори включають одноразовий значний вплив один на інший, ритми часових факторів узгоджується з ритмами карстових 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. Факторна характеристика – це оцінка фактора, яка може бути виражена кількісно.

Закон розподілу визначається відповідно до гістограми розподілу факторних характеристик для точок карстопоявів на поверхні Землі для території досліджень. При побудові гістограми по ординаті відкладається кількість карстопоявів для інтервалів факторної характеристики, що розподілена по осі абсцис. Визначення законів розподілу прямим шляхом здійснюється для факторів, характеристики яких визначаються кількісно у фізичних одиницях. Для різних факторів, характеристики яких на картах зображено за принципом районування (наприклад, поширення геологічних світ) пропонується розраховувати кількісну характеристику, яка визначає їхній зв'язок із поверхневими карстопоявами, а саме так званий коефіцієнт контрастності  $R_i$ , що має фізичний зміст коефіцієнта ураженості території:

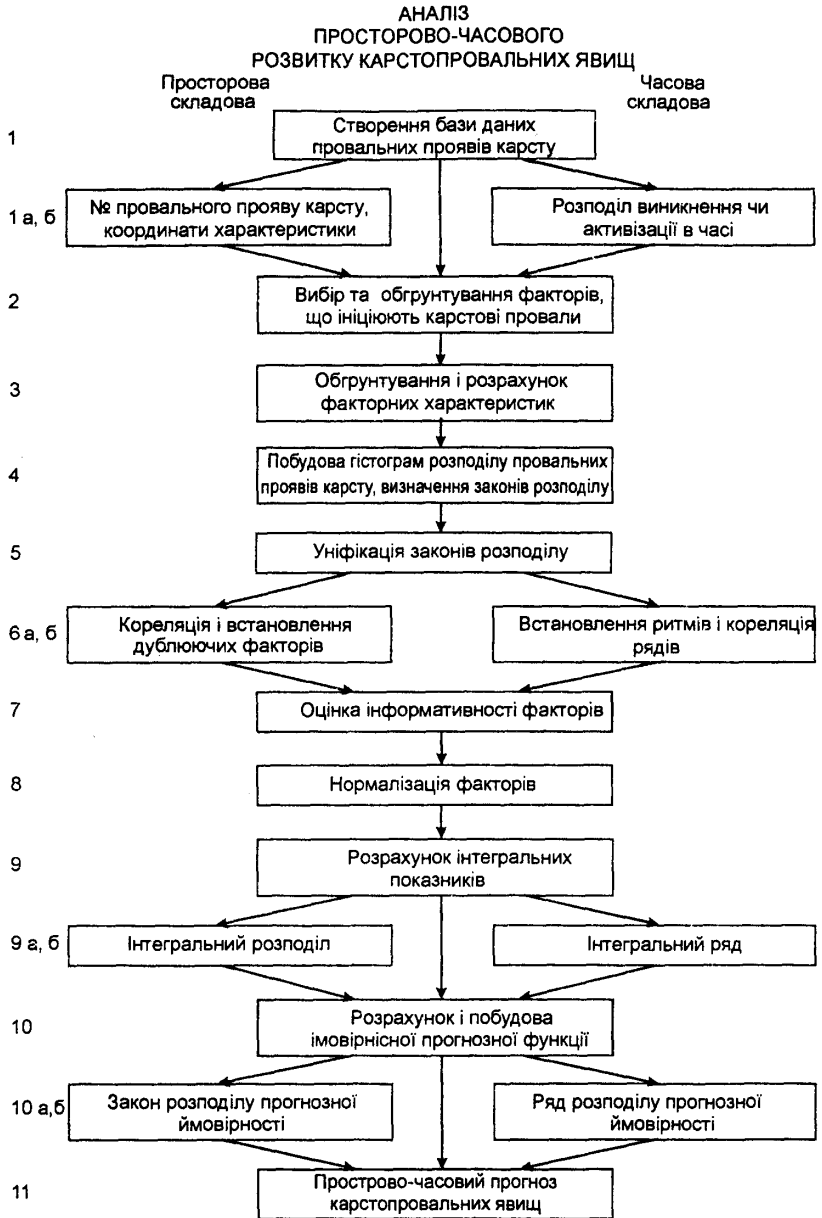
$$R_i = \frac{N_i / \sum N_i}{S_i / \sum S_i}, \quad (1)$$

де:  $N_i$  - кількість зареєстрованих поверхневих карстопоявів у межах певної зони (району);  $\sum N_i$  - загальна кількість зареєстрованих карстопоявів у регіоні;  $S_i$  - площа певної зони (району);  $\sum S_i$  - загальна площа території всього регіону.

Уніфікація законів розподілу поверхневих проявів карсту здійснюється шляхом лінійних перетворень таким чином, 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, то на даний час перспективним вважається прогноз часу активізації ЕГП, заснований на уявленні про ритмічність природних явищ, у



**Рис. 1. Алгоритм дослідження просторово-часового розвитку провально-просадкових проявів карсту на поверхні Землі**



тому числі карстопровальних. Визначення основних періодів квазігармонічних часових коливань активізації карстопровальних процесів, а також параметрів, які ініціюють цю активізацію, тобто встановлення ритмів, виконується за допомогою автокореляційного аналізу, а при 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 провальних-просадкових проявів 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 інформативності кожного з них. Розрахункова формула – це відома формула для зведеного загального коефіцієнта кореляції.

Процедура нормалізації має за мету трансформацію 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 прояву карстових процесів виконується за формулою

$$P_{\Sigma_i} = \sum_{j=1}^k P_{ij} \times V_j, \quad (2)$$

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

Розподіл інтегрального показника  $P_{\Sigma_i}$  ілюструється уніфікованою гістограмою частоти його зустрічі для всіх поверхневих карстопроявів, що, відповідно до попереднього аналізу, повинна підпорядковуватись нормальному закону.

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

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^m X_{ij}^{norm} \cdot V_j \quad (3)$$

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

Розподіл інтегрального показника  $\Phi_i$  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 та ймовірністю його небезпеки.

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

еталонного ймовірного ряду.

Результуюча функціональна формула, що характеризує ймовірність виникнення або активізації провальних-просадкових явищ карсту  $P(x,y,t)$  у просторі (точка на поверхні Землі з координатами  $x, y$ ) і в часі  $t$ , буде виглядати так:

$$P(x,y,t) = P_1(x,y) \times P_2(t) = P_1(\Pi_{\Sigma_i}) \times P_2(\Phi_t), \quad (4)$$

де  $P_1(x,y)$  – імовірність розвитку поверхневих проявів карсту в просторі;  $P_2(t)$  – імовірність розвитку поверхневих проявів карсту на час  $t$ ;  $i$  – номер точки спостереження з координатами  $x,y$ ;  $\Pi_{\Sigma_i}$  – значення інтегрального показника просторових факторів;  $\Phi_t$  – значення функції інтегрального показника часових факторів активізації карсту.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи дається оцінка природним умовам розвитку карстових процесів, детально описуються геолого-тектонічні та гідрогеологічні умови території досліджень, а також оцінюється існуюча ураженість території досліджень карстовими процесами.

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

Досліджувана територія розташована в межах крупних геоструктурних регіонів – Східно-Європейської платформи та Передкарпатського прогину. У геологічній будові території беруть участь крейдові, неогенові і четвертинні відклади. Верхньокрейдові 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 неузгоджено залягають неогенові породи, представлені в нижній частині глинистими пісками й пісковиками товщиною від 0 до 32 м (баранівський горизонт). Вище залягає нараєвський горизонт, складений нижньобаденськими літотамнієвими вапняками з прошарками пісків і пісковиків. У північно-східній частині досліджуваної території горизонт виходить на денну поверхню або залягає під четвертинним покривом. На південному-заході він занурюється на глибину до 200 м. Товщина горизонту від 1-3 до декількох десятків метрів. На літотамнієвих вапняках нараєвського горизонту залягає дністровський горизонт, складений гіпсангідритами, що разом із залягаючим у його покрівлі ратинським горизонтом, складеним пелітоморфними й кристалічними вапняками, утворюють тираську світу, яка є основним середовищем розвитку карсту даної території. Гіпсоангідритовий горизонт має товщину від декількох до 35-50 м. Відклади тираської світи перекриваються карбонатно-глинистими відкладами косівської світи, яка відноситься до верхнього баденію. Поблизу межі з прогином вони представлені переважно глинистими відкладами, з пісковиками і карбонатними прошарками в нижній частині. Верхньобаденські відклади в верхній частині розрізу змінюються товщею сарматських мергелів і глин, товщина яких зростає до 30-50 м у напрямку прогину. Поблизу границі з прогином сарматські відклади за літологією важко відрізнити від порід косівської світи, разом з якими утворюють глинисту покривку загальною товщиною до 80-100 м.

На території досліджень виявлено велику кількість тектонічних порушень, що значно сприяє карстоутворенню, враховуючи їхню дренажну дію, а також підвищену тріщинуватість порід у 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 кавернозно-тріщинних колекторів з локальним розвитком послідовно залягаючих водоносних горизонтів і комплексів. У структурно-гідрогеологічному відношенні зона зчленування платформи із прогином є моноклінальним артезіанським схилом 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 звичайно виділяються два водоносних горизонти в міоценовій товщі: “під гіпсовий” у нижньобаденських літотамнієвих вапняках, пісках і пісковиках та “надгіпсовий” у ратинських і епігенетичних вапняках і низах косівської світи. Таким чином горизонт гіпсангідритів повинен виступати водоупором, що відзначається більшістю дослідників. Але в сучасних працях окремих науковців вказується на тісний гідродинамічний 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 (А.Б. Климчук, 2007).

Враховуючи існування тісного гідродинамічного зв’язку між надгіпсовим і підгіпсовим водоносними горизонтами у вапняках, а також існування сітки тектонічних порушень, недоцільно розглядати провальні прояви сульфатного і карбонатного карсту окремо, принаймні в регіональному масштабі, в якому і проводяться дані дослідження. Далі це доведено одномодальністю законів розподілу факторів.

**У четвертому розділі дисертації обґрунтовується вибір просторових і часових факторів карстопровальних явищ.**

Згідно визначення основних умов утворення карсту Д.С. Соколова (1962), карст розвивається там, де існує одночасна наявність розчинних гірських порід, їх водопроникності, наявності рухомих вод і їх розчинної здатності. Різноманітність основних умов розвитку карсту залежить від багатьох факторів і змінюється в часі, визначаючись для кожної території її геологічною історією. Для забезпечення всестороннього розгляду процесу утворення карстових провалів розглядалась максимальна доступна для розгляду кількість факторів. Виходячи з теоретичних уявлень про процес утворення карстових провалів, а також з об’єктивності впливу чинників у регіональному масштабі, розраховано кількісні характеристики в точках карстопровалів для наступних ймовірних факторів карстоутворення:

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

- геофізичні – значення гравітаційного поля в редукції Буге;
- геоморфологічні – абсолютна висота над рівнем моря точки карстопроваю, кут нахилу земної поверхні, відстань до базису ерозії;
- гідрогеологічні – рівень ґрунтових вод, водопровідність четвертинних утворень, водопровідність неогенових відкладів, потужність 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, ізопотужності четвертинного та міоценового водоносних горизонтів, катіонний, аніонний склад і мінералізація підземних вод четвертинного водоносного горизонту;
- інженерно-геологічні – відстань до найближчого карстопроваю;
- техногенні – відстань до ділянок порушення геологічного середовища (кар'єрів, водозаборів), відстань до населеного пункту.

Для попереднього статистичного аналізу обрано 25 факторів. Аналіз на відповідність розподілів факторних характеристик теоретичним законам розподілу дозволив вилучити з подальших досліджень параметри – водопровідність четвертинних відкладів і кут нахилу денної поверхні, оскільки ці фактори мають невелику градацію та навіть після логарифмування не відповідають нормальному закону розподілу.

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

Результати кластерного і факторного аналізів виявили групи споріднених факторів. Пов'язаними між собою виявилась група факторів «гідроізогіпси четвертинного водоносного горизонту – гідроізогіпси міоценового водоносного горизонту – абсолютна висота над рівнем моря точки карстопроваю - рівень ґрунтових вод», а також група факторів « $R_i$  зон із різною товщиною водоупорів у товщі четвертинних відкладів –  $R_i$  зон із різною товщиною водоупорів у товщі міоценових відкладів – товщина порід до першого від поверхні водоупору».

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

Виходячи з теоретичних уявлень про процес утворення карстових провалів, для досліджень розподілу активізації карсту в часі доцільно використовувати річні ряди провальньо-просадкових проявів карсту та зумовлюючих його факторів: річна кількість опадів, середньорічна температура, сонячна активність (ряд чисел Вольфа), енергія землетрусів, рівень ґрунтових вод.

У п'ятому розділі дисертації визначено закономірності просторового та часового розподілу карстопроявів, а також здійснено просторово-часовий прогноз карстопробальної небезпеки.

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

Таблиця 1

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

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

\* – 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	$f(x) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left(-\frac{x-a}{b}\right) \cdot \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right)$

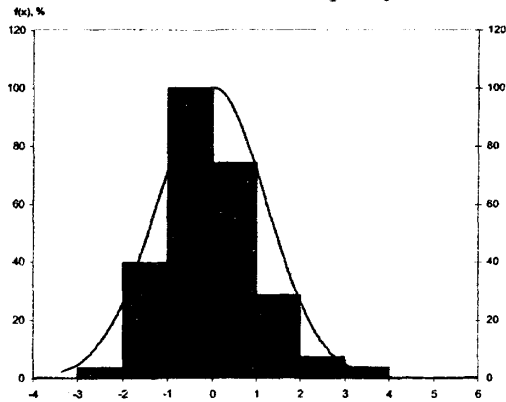
Після логарифмування та нормалізації проведені процедури кластерного і факторного аналізу для встановлення взаємопов'язаних факторних характеристик. Наступним найбільш важливим етапом є розрахунок інтегрального показника, законірно пов'язаного з розподілом карсту (формула (1)).

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 карстоутворення відображається у величині комплексного інтегрального показника факторів з подальшим визначенням розподілу ймовірності цього показника в часі, екстраполяція якого розглядається як прогнозний розподіл ймовірності активізації

карсту. Послідовність досліджень відповідала алгоритму, наведеному на рис. 1.



**Рис. 2. Гістограма інтегрального показника карстоутворення, розрахованого з урахуванням всіх факторів і їхніх вагових коефіцієнтів інформативності для карстових провалів експериментальної ділянки**

За результатами автокореляційного та спектрального аналізу для ряду активності карстопроявів чітко виділяються 5-ти й 10-ти річні періодичні складові, для ряду чисел Вольфа домінуючою є гармоніка 10 років, ряду річної кількості опадів – 5 і 10 років. Найбільший внесок у 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 одиночні ритми в 5 років. По карсту й по всіх факторах без винятку відзначається ритм у 10 років. Гармоніки з цими періодами надалі вважаємо домінуючими.

Розрахунок функцій взаємної кореляції показав, що для ряду чисел Вольфа спостерігається зміщення 3 роки назад стосовно ряду активності карстопровальних явищ, а для ряду енергії землетрусів – 1 рік назад. Значення функції взаємної кореляції для пари рядів кількість карстопроявів – річна кількість опадів показують, що ці ряди перебувають у протифазі. Усі фактори відіграють приблизно однакову роль в ініціюванні карстопровальної небезпеки, відсутнє домінування якогось одного фактора.

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 карсту шляхом побудови карти ймовірності просторового інтегрального показника розвитку карсту. На рисунку 4 представлена прогнозна карта карстопровальної небезпеки для досліджуваної території на рік максимальної карстопровальної небезпеки – 2014.



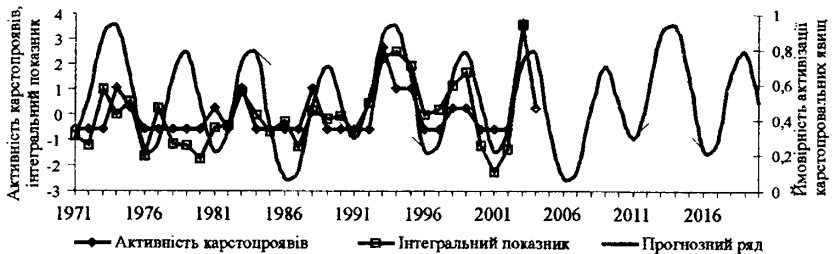


Рис. 3. Фактичні ряди активності карстопроявів і інтегрального показника та прогнозний ряд, екстрапольований лінійною комбінацією синусоїд

Візуальний аналіз графіків дозволяє 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. На рис. 3 зображено прогнозний ряд, екстрапольований лінійною комбінацією синусоїд. 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 методиками, збігаються між собою в ритмічності й в істотності значень імовірності карстопроявів.

Таблиця 3

Результати часового прогнозу карстопроявних процесів

Процедура прогнозу	Прогнозні роки максимуму карстопроявальної небезпеки	Ймовірність виникнення карстових провалів
Екстраполяція по осередненій кривій	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 лінійною комбінацією синусоїд з основними періодами, рівними половині періоду (5 і 10 років)	2013-2014	0,93
	2018-2019	0,78

Наступним етапом розвитку даних досліджень може стати створення системи комплексного просторово-часового прогнозування карстових процесів. Система дозволить виконувати просторовий, часовий або просторово-часовий прогноз розвитку й активізації карстопроявних процесів. Наведений алгоритм є основою побудови прогнозних карт карстопроявальної небезпеки з використанням комплексу просторових і часових факторів. Просторово-часовий прогноз карстопроявальної небезпеки може використовуватись при плануванні господарського освоєння карстонебезпечних територій з метою запобігання надзвичайних ситуацій, що дозволить покращити рівень екологічної безпеки держави загалом.

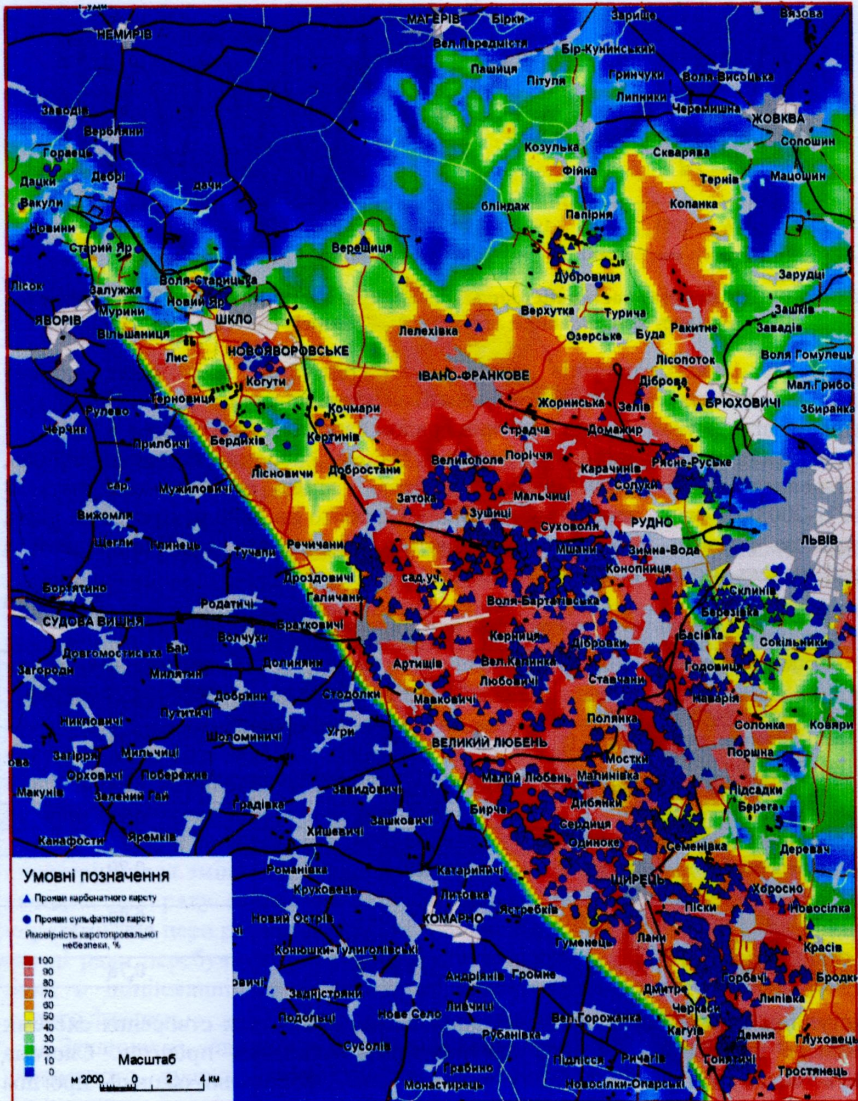


Рис. 4. Прогнозна карта ймовірності розвитку провальньо-просадкових проявів сульфатного і карбонатного карсту на території досліджень

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі висвітлено актуальну науково-прикладну задачу довгострокового регіонального прогнозу розвитку карстопровальних процесів. Теоретичні та експериментальні дослідження, що виконані автором, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Активний розвиток і значне поширення поверхневих карстових проявів по території України свідчить про необхідність довгострокового регіонального прогнозу цих процесів у часі і просторі. Зазначений прогноз повинен здійснюватись на основі врахування просторових і часових чинників.

2. Проведені теоретичні дослідження дозволяють запропонувати наступну послідовність 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, оцінка інформативності факторів, розрахунок інтегральних показників, розрахунок прогнозно ймовірнісної функції.

3. Обґрунтовано вибір комплексу значимих за характером впливу просторових і часових факторів, які доцільно використовувати при прогнозі карстопровальних явищ. В якості просторових факторів обрано геологічні (поширення геологічних горизонтів, літологічний склад четвертинних відкладів), геоморфологічні (базис ерозії, найближчий поверхневий прояв карсту), гідрогеологічні (водопровідність неогенових відкладів, поширення водоупорів, потужність четвертинного і міоценового водоносних горизонтів, рівень підземних вод), тектонічні (тектонічні порушення), геофізичні (гравітаційне поле Землі), техногенні (наявність населених пунктів, ділянок порушення геологічного середовища). В якості часових обрані геофізичні (числа Вольфа, енергія землетрусів), метеорологічні (кількість опадів та температура), гідрогеологічні (рівень ґрунтових вод).

4. Просторовий прогноз карстопровальної небезпеки здійснюється на основі виявленого закономірного зв'язку просторових карстоініціюючих факторів з просторовим розподілом карстопроявів. Часовий довгостроковий прогноз розвитку провально-просадкових проявів карсту базується на гіпотезі про закономірну повторюваність природних процесів. За результатами аналізу можна стверджувати про наявність ритмічності як у ряді активізації карстопроявів, так і у геофізичних, метеорологічних, гідрогеологічних групах факторів.

5. Кінцевим результатом досліджень є розрахунок комплексних інтегральних просторових і часових показників утворення поверхневих карстопроявів, 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. Найближчим часом масової активізації 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 карстопровальної небезпеки для уражених карстом територій.

Прогнозування карстопровальної небезпеки дозволить планувати заходи щодо запобігання аварійних ситуацій при будівництві й експлуатації господарських та інженерних споруд, ефективніше захищати населення від стихійних лих, що в сукупності сприятиме підвищенню екологічної безпеки держави.

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

1. Особенности временного прогнозирования оползневой активности с учетом сейсмических факторов (на примере Предкарпатья) / Э.Д. Кузьменко, А.Н. Карпенко, Р.И.Таранова, И.В. Чепурный // Геоинформатика. – 2005. – №4. – С. 54-63 (Особистий внесок – участь у постановці задачі, статистичний аналіз часових чинників зсувних та карстових процесів – 35%).
2. О цикличности карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью / Э.Д. Кузьменко, Е.И. Крыжанивский, Р.С. Пронишин, А.Н. Карпенко, И.В. Чепурный // Геофизический журнал. – 2007. – № 4(29). – С. 66-76 (Особистий внесок – визначення закономірних зв'язків між сейсмічною і сонячною активністю, які є чинниками активізації екзогенних геологічних процесів, куди відносяться і карстові – 30%).
3. Кузьменко Е.Д. Довгостроковий часовий прогноз розвитку карсту на Передкарпатті / Е.Д. Кузьменко, І.В. Чепурний, П.І. Козак // Геоинформатика. – 2008. – №3. – С. 78-85 (Особистий внесок – ідея, постановка задачі, комплекс досліджень – починаючи з систематизації вихідних даних і закінчуючи прогнозом – 75%).
4. Кузьменко Е.Д. Закономірність розвитку приповерхневого карсту в питаннях надійності експлуатації нафто- і газопроводів / Е.Д. Кузьменко, О.П. Вдовина, І.В. Чепурний// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. –№4(29). – С. 5-9 (Особистий внесок – Здійснено просторо-часовий прогноз розвитку карстопровальних явищ – 60%).
5. Чепурний І.В. Довгострокове прогнозування розвитку сульфатного і карбонатного карсту в неогенових відкладах Передкарпаття (на прикладі території Львівської області) / І.В. Чепурний // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. –№3(21).– С. 34-43.
6. Кузьменко Э.Д. О связи сейсмичности с солнечной активностью / Э.Д. Кузьменко, А.Н. Карпенко, И.В. Чепурный // Мониторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали VI Міжнар. наук. конф.– Київ, 2005. – С. 110-111 (Особистий внесок – статистичний аналіз чинників активізації карстопровальних процесів - рядів сонячної та сейсмічної активності – 40%).
7. Кузьменко Е.Д. Про часові закономірності розвитку сульфатного карсту на Передкарпатті / Е.Д. Кузьменко, О.М. Карпенко, І.В. Чепурний // Мониторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали Всеукраїнської наук. конф. (м. Київ, 21-24 вересня 2006 р.). – Київ, 2006.– С. 281-282 (Особистий внесок – збір фактичного матеріалу по часових рядах карстопроявів та факторів, проведення досліджень, висновки – 75%).

8. Кузьменко Е.Д. Статистичний аналіз ймовірних чинників активізації карстових процесів / Е.Д. Кузьменко, І.В. Чепурний // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали міжнар. наук. конф. (м. Київ, 20-23 вересня 2007 р.). – Київ, 2007.- С. 132-133 (Особистий внесок – ідея, постановка задачі, визначення комплексу чинників активізації карстових процесів та їх статистичний аналіз – 80%).

9. Кузьменко Е.Д. Методика довгострокового прогнозування карстопровальних явищ / Е.Д. Кузьменко, І.В. Чепурний // XIV Міжнародний симпозиум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології»: тези доповідей (м. Алушта, 8-13 вересня 2009 р.). – Львів, 2009. – С. 73-74 (Особистий внесок – участь в постановці задачі, визначення послідовних етапів досліджень при прогнозі карстопровальних явищ – 60%).

10. Чепурний І.В. Вибір факторів при створенні системи прогнозування карстопровальних явищ / І.В. Чепурний, Е.Д. Кузьменко // XIV Міжнародний симпозиум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології»: тези доповідей (м. Алушта, 8-13 вересня 2009 р.). – Львів, 2009. – С. 75-76 (Особистий внесок – ідея, проведення досліджень з метою обґрунтування основних факторів карстопровальних явищ – 85%).

### АНОТАЦІЯ

**Чепурний І.В.** Довгострокове прогнозування розвитку провальньо-просадкових проявів сульфатного і карбонатного карсту в неогенових відкладах Передкарпаття (на прикладі території Львівської області). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2009.

Дисертацію присвячено екологічній проблемі – довгостроковому регіональному просторово-часовому прогнозу 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. Просторовий прогноз здійснено побудовою прогнозної карти карстопровальної небезпеки, часовий – шляхом екстраполяції еталонного ймовірнісного ряду.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** карст, провальньо-просадкові прояви, фактори карстоутворення, просторовий і часовий прогноз.

## АННОТАЦИЯ

**Чепурный И.В.** Долгосрочное прогнозирование развития провально-просадочных проявлений сульфатного и карбонатного карста в неогеновых отложениях Предкарпатья (на примере территории Львовской области). – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2009.

Диссертация посвящена экологической проблеме развития карстопровальных явлений в сульфатно-карбонатных породах и его долгосрочному региональному пространственно-временному прогнозу.

На основании литературных данных обоснована связь поверхностных карстопроявлений (карстовых воронок) с глубинными карстовыми формами, доказана возможность выражения интенсивности карстового процесса количеством карстовых воронок. Предложен алгоритм пространственно-временного прогноза карстовых процессов.

Установлено, что прогнозирование карстопровальных процессов следует осуществлять с учетом комплексного влияния пространственных и временных карстоиницирующих факторов. Установлено, что к пространственным факторам относятся геологические, гидрогеологические, тектонические, геоморфологические, геофизические, а к временным – геофизические, гидрогеологические и метеорологические.

Определено оптимальный для данной территории комплекс факторов карстообразования. Величинами, которые на количественном уровне учитывают влияние пространственных и временных факторов, предложено считать интегральные пространственные и временные показатели карстопровальной опасности.

На количественном вероятностном уровне осуществлен прогноз развития карстовых провалов во времени и пространстве. Пространственный прогноз осуществлен построением прогнозной карты карстопровальной опасности, временной – путем экстраполяции эталонного вероятностного ряда.

Пространственно-временная вероятность карстопровальной опасности рассчитывается простым перемножением пространственной и временной вероятности в любой точке в пределах территории, для которой реализован как пространственный, так и временной прогноз.

Практическое значение долгосрочного пространственно-временного прогноза, приведенного в диссертационной работе, заключается в возможности создания геоинформационной системы пространственно-временного прогнозирования развития карста.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** карст, провально-просадочные явления, факторы карстообразования, пространственный и временной прогноз.



**ABSTRACT**

**Chepurnyj I.V.** The long-term forecast of the development of the breakdown and subsidence phenomena of sulfate and carbonate karst in the neogene deposits of Precarpathia (on the example of Lviv region territory). – Manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree in Geology on specialty 21.06.01 – ecological safety. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2009.

The dissertation is devoted to study of ecological issue of the karst development in sulfat-karbonatic breeds and the long-term regional spatio-temporal forecast of it.

It is found that the complex influence of spatial and temporal karst development factors should be used in the karst processes forecast. The optimum complex of the factors to the karst development to this territory is noted. The values, that at the quantitative level consider the influence of the spatial and temporal factors, suggested to assume the integral spatial and temporal indexes of karst breakdown danger.

The forecast of the karst failures development was made in the time and space at the quantitative probabilistic level. A spatial forecast was made by the creation of prognosis map of karstic danger, temporal – by the extrapolation of standard probabilistic row.

**KEYWORDS:** karst, breakdown-subsidence phenomena, factors of karst development, spatial and temporal forecast.



an2079