

Дослідження та методи аналізу

УДК 553.98(477.8)

DOI: 10.31471/1993-9973-2021-4(81)-24-32

ВИКОРИСТАННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ СТРУКТУРНИХ ФОРМ ДЛЯ ГЕОЛОГО-СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДЧАСТИХ СТРУКТУР

І. Р. Михайлів*, А. П. Бойко, Г. О. Жученко, М. М. Яцишин

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел: +38 050 1591847;
e-mail: iramykhailiv@ukr.net;

На сьогодні математичні методи стають необхідним інструментом геологічних досліджень. Комп'ютерна обробка геологічних даних широко впроваджується в сучасні методи вивчення нафтогазоносності надр. Тому опис структур як можливих пасток нафти і газу проводили шляхом аналізу їх кількісних параметрів, що дозволило аргументовано підтвердити встановлені закономірності. З метою виявлення закономірностей у взаємозв'язках між числовими параметрами складчастих структур було проведено комп'ютерне геолого-статистичне моделювання досліджуваних об'єктів Бориславсько-Покутської зони з використанням кореляційного і кластерного аналізів. В цілому кореляційний аналіз дозволяє проводити аналіз сукупності визначених величин і спрямований на виявлення та вивчення систем, які утворюють деякі з величин, що входять в дану сукупність. Класифікація будь-яких об'єктів за змістовими групами проводиться методом кластер-аналізу. За кількісними показниками можна оцінити результати досліджень розподілу тектонічних напруг і деформацій, що сприятимуть більш надійному прогнозуванню нафтогазоносності надр. В свою чергу, це дозволить значно підвищити геологічну результативність геологорозвідвальних робіт на нафту і газ на площах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину. Сучасна форма структур та їх просторове розміщення є наслідком дії тектонічних сил протягом досить тривалого періоду геологічного часу. Різні прояви активності тектогенезу в різні епохи спричиняють певні зміни структурного плану геологічних тіл і, у такий спосіб, впливають на їх можливу нафтогазоносність (формування, розформування і переформування пасток і, відповідно, покладів). Структури Бориславсько-Покутської зони пройшли складний і тривалий шлях формування – від конседиментаційних флішових складок до дуже складних постконседиментаційних структурних форм, що зумовлено впливом величини та характеру прикладання формуючих тектонічних зусиль. Під впливом дії тектонічних сил різного характеру сформувались різноманітні морфологічні структурні форми. При цьому морфологічні різновиди структур можна описати числовими параметрами, які можуть бути покладені в основу класифікації структур Бориславсько-Покутської зони.

Ключові слова: параметри, моделювання, структури, кількісні показники.

В настоящее время математические методы становятся необходимым инструментом геологических исследований. Компьютерная обработка геологических данных широко внедряется в современные методы изучения нефтегазоносности недр. Поэтому описание структур как возможных ловушек нефти и газа проводилось путем анализа их количественных параметров, что позволило аргументированно подтвердить установленные определенные закономерности. С целью выявления закономерностей во взаимосвязях между числовыми параметрами складчатых структур проведено компьютерное геолого-статистическое моделирование исследуемых объектов Бориславско-Покутской зоны с использованием корреляционного и кластер-

ного анализів. В цілому кореляційний аналіз дозволяє проводити аналіз сукупності певних величин і направлено на виявлення і вивчення систем, які утворюють певні частини з цієї сукупності. Класифікація будь-яких об'єктів за певними групами проводиться методом кластер-аналізу. По кількісним показателям можна оцінити результати досліджень розподілу тектонічних напружень і деформацій, що сприяють більш надійному прогнозуванню нафтогазоносності надр. В свою чергу, це дозволить значно підвищити геологічну результативність геологорозвідочних робіт на нафту і газ на площах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогібу. Сучасна форма структур і їх просторове розміщення є наслідком дії тектонічних сил на протязі достатньо тривалого періоду геологічного часу. Різноманітні прояви активності тектогенезу в різні епохи викликають певні зміни структурного плану геологічних тіл, впливаючи на їх можливу нафтогазоносність (формування, расформовування і переформовування ловушок і, відповідно, залежностей). Структури Бориславсько-Покутської зони пройшли складний і тривалий шлях формування - від конседиментаційних флішевих складок до дуже складних постконседиментаційних структурних форм, що обумовлено впливом величини і характеру прикладання формуючих тектонічних сил. Під впливом тектонічних сил різного характеру сформувалися різноманітні морфологічні структурні форми. При цьому морфологічні різновидності структур можна описати кількісними параметрами, які можуть бути використані в основі класифікації структур Бориславсько-Покутської зони.

Ключові слова: параметри, моделювання, структури, кількісні показники.

At present, mathematical methods are becoming a necessary tool for geological research. Computer processing of geological data is widely used in modern methods of studying the oil and gas content of the subsoil assets. Therefore, the description of the structures as possible oil and gas traps has been given via an analysis of their quantitative parameters, which allowed to substantiate certain established patterns. In order to identify patterns in the relationships between the numerical parameters of folded structures, the computer geological and statistical modeling of the studied objects within the Boryslav-Pokutska area using correlation and cluster analysis has been conducted. In general, correlation analysis allows to delve into a set of defined quantities and is aimed at identifying and studying the systems that form some of the quantities included in this set. Classification of any objects by content groups is carried out by the method of cluster analysis. Quantitative indicators can be used to evaluate the results of studies of the distribution of tectonic stresses and deformations, which will contribute to a more reliable prediction of oil and gas presence. In turn, this will significantly increase the geological efficiency of oil and gas exploration in the areas of the Boryslav-Pokutska area of the Pre-Carpathian Foredeep. The structures' modern shape and their spatial location is a consequence of tectonic forces over a fairly long period of geological time. Different manifestations of tectogenesis activity in different epochs cause certain changes in the structural plan of geological bodies and thus affect their possible oil and gas potential (formation, disintegration and reshaping of traps and, accordingly, deposits). The structures of the Boryslav-Pokutska area have undergone a complex and long path of formation: from consedimental flysch folds to very complex post-consedimental structural forms, which is due to the influence of the magnitude and nature of the application of formative tectonic forces. Under the influence of tectonic forces of different nature, various morphological structural forms have been formed. The structures' morphological varieties can be described by numerical parameters, which can be used as a basis for the classification of structures of the Boryslav-Pokutska area.

Keywords: parameters, modeling, structures, quantitative indicators.

Вступ

Бориславсько-Покутська зона Передкарпатського прогібу відноситься до найстаріших в Україні нафтогазовидобувних регіонів, вуглеводневий потенціал якого ще далеко не вичерпаний. Тому детальне вивчення особливостей її геологічної будови і зокрема локальних структурних форм як можливих пасток нафти і газу, є актуальним завданням для надійного прогнозування нафтогазоносності надр.

Мета роботи

Для створення класифікації складчастих структур за кількісними показниками слід використовувати методи геолого-статистичного моделювання.

Розроблення такої класифікації доцільно базувати на аналізі вибірки структур, охарактеризованих кількісними показниками.

Методи геолого-статистичного моделювання дозволяють обробляти великі масиви числових параметрів і добре описані у фаховій літературі [1-4].

Формування локальних структур відбувається під дією структуротвірних рухів, які завжди відображені в їх будові, тобто фактори, що сформували структуру проявляються в її морфології [5-6].

Формулювання цілей статті

Тому вивчення зіставлення кількісних ознак структурних форм дає змогу встановити

величину і характер дії тектонічних сил, що призвели до їх формування [7-8]. Встановлення характеру зв'язків між явищами або величинами, які характеризують ці явища, в практиці геологічних досліджень має велике значення.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Оцінити форму зв'язку (функцію) та міру тісноти зв'язку між аргументом і функцією дозволяє кореляційний аналіз. Це метод статистичного дослідження, при якому встановлюється наявність, тіснота, напрям і форма співвідношень (кореляційних зв'язків) між випадковими величинами. Кореляція є зручною моделлю для дослідження комплексних властивостей геологічних об'єктів, необхідним елементом будь-якої процедури багатовимірної статистичної аналізу [1].

Проведення кореляційного аналізу відбувається в такій послідовності:

- 1) створення кореляційної таблиці, в якій загальні інтервали, що містять значення кожної з величин, розбиваються на класи;
- 2) для кожного значення аргументу обчислюється середнє арифметичне, зважене за частотою значення функції, яке називається умовною середньою;
- 3) побудова кореляційної залежності (створення лінії регресії та рівняння регресії).

При вивченні системи випадкових величин недостатньо досліджувати будь-яку складову системи окремо від інших, тому що у системи з'являються додаткові властивості, пов'язані з тим, що між компонентами системи можуть існувати зв'язки. Тому, крім вивчення властивостей однієї окремо взятої випадкової величини, необхідно виявляти зв'язки між компонентами системи. Вирішення такого завдання стає можливим у випадку кореляційної матриці між окремими компонентами системи. Оскільки числові характеристики структурної форми (як і будь-які геологічні об'єкти загалом) є системою зі складною структурою, то зв'язки між параметрами цієї системи мають нечіткий (завуальований) характер. Побудова кореляційної матриці дозволить охопити відразу всю картину можливих кореляційних зв'язків між окремими компонентами системи. Проведення такого виду кореляційного аналізу доцільне для визначення характеру і тісноти зв'язків між кількісними параметрами структур Бориславсько-Покутської зони.

Для визначених кількісних показників складчастих структур Бориславсько-Покутської зони, що є системою випадкових величин, в

пакеті програм "Statistica" було створено кореляційну матрицю. Аналіз цієї матриці виявив наявність тісного кореляційного зв'язку між певною кількістю параметрів.

На особливу увагу заслуговують кореляційні зв'язки кута падіння порід на південно-західному крилі і коефіцієнта інтенсивності структуроутворення ($\beta = f(i)$) та щільності тектонічних порушень і коефіцієнта інтенсивності структуроутворення ($\Sigma_n = f(i)$) [9-10], які розглянемо більш детально.

1. Залежність $\beta = f(i)$. Величина коефіцієнта інтенсивності структуроутворення дає змогу оцінювати ступінь змінання порід в складки і, відповідно, характеризує крутизну крил. Тобто, чим більшим є коефіцієнт інтенсивності структуроутворення, тим сильніше пласт деформований і зім'ятий в складку з більшими кутами падіння порід на її крилах. Отже, для більшості структур Бориславсько-Покутської зони спостерігається прямий кореляційний зв'язок між коефіцієнтом інтенсивності структуроутворення та кутом падіння порід на південно-західному крилі (враховуючи асиметричність будови досліджуваних структур).

Проведені на комп'ютері розрахунки виду такого зв'язку методом найменших квадратів показали, що залежність $\beta=f(i)$ виражається такими рівняннями регресії (рис. 1 А):

- для складок першого ярусу
 $\beta = 15,42 + 0,44 \cdot i$;
- для складок другого ярусу
 $\beta = 18,47 + 0,26 \cdot i$;
- для складок третього ярусу
 $\beta = 18,84 + 0,49 \cdot i$.

Коефіцієнти парної кореляції при цьому відповідно становлять $r=0,816$, $r=0,712$ і $r=0,842$.

Високі значення коефіцієнтів кореляції вказують на досить тісний зв'язок між коефіцієнтом інтенсивності структуроутворення та кутом падіння порід на південно-західних крилах для складок Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину. Надійність такого кореляційного зв'язку оцінювалась за критерієм Р.А. Фішера [11]:

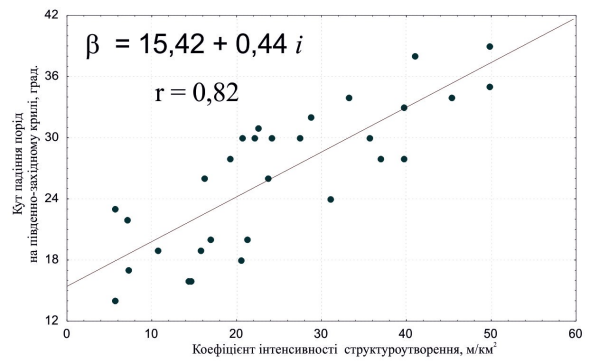
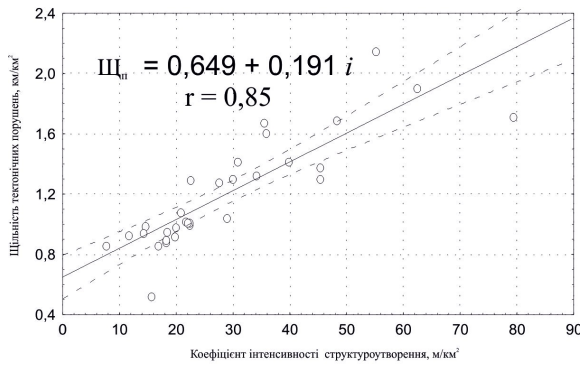
$$\theta = z \sqrt{n-1}, \tag{1}$$

де θ - оцінка коефіцієнта кореляції;
 z - величина, яка пов'язана з коефіцієнтом кореляції і чисельно дорівнює:

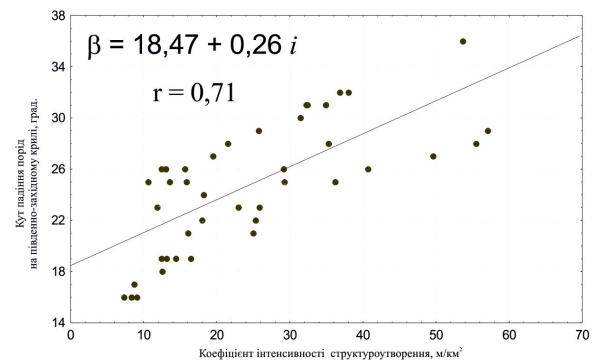
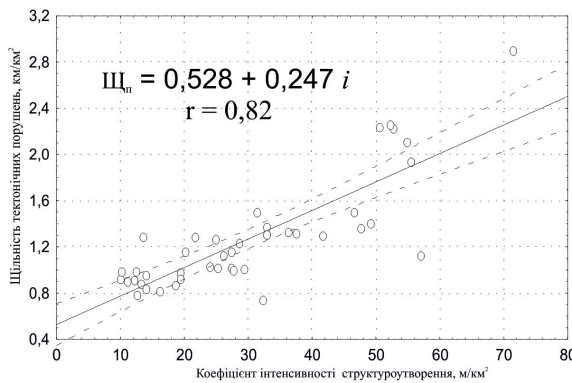
$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}, \tag{2}$$

де n - величина вибірки;
 r - коефіцієнт кореляції.

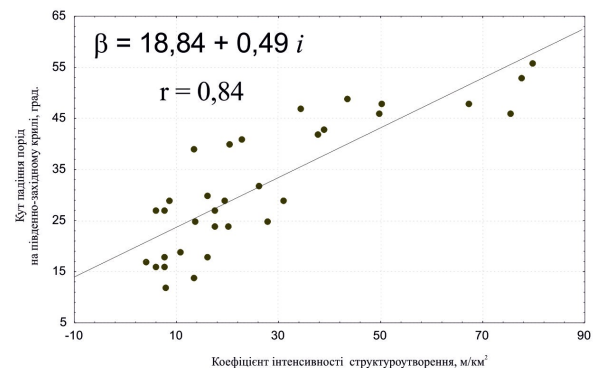
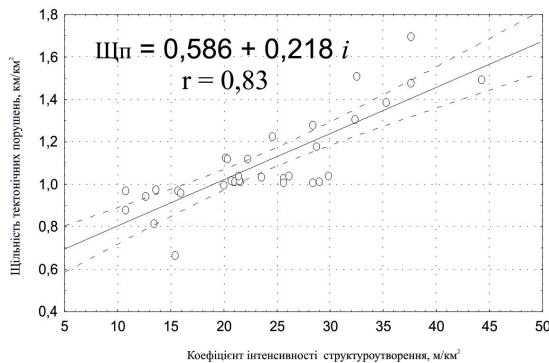
для структур першого ярусу



для структур другого ярусу



для структур третього ярусу



A

B

Рисунок 1 – Залежності параметрів (А – щільності тектонічних порушень та В – кута падіння порід на південно-західному крилі) від коефіцієнта інтенсивності структуроутворення

При $\theta \geq 2.5$ для вибірок з невеликим обсягом кореляційний зв'язок вважається надійним.

Оцінка надійності коефіцієнтів кореляції, одержаних для структур різних ярусів, становить:

для структур першого ярусу:

$$\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0.816}{1-0.816} \sqrt{30-1} = 6.17 > 2.5;$$

- для структур другого ярусу:

$$\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0.712}{1-0.712} \sqrt{42-1} = 5.70 > 2.5;$$

- для структур третього ярусу:

$$\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0.842}{1-0.842} \sqrt{33-1} = 6.95 > 2.5.$$

2. Залежність $\text{Щ}_п = f(i)$. Існування такої залежності пояснюється тим, що складки Бориславсько-Покутської зони відзначаються сильною ускладненістю тектонічними порушеннями (значна розбитість на блоки), яка виникла під час формування їх сучасного вигляду. В той же час про причину структуроутворення можна судити за величиною коефіцієнта інтенсивності структуроутворення, тому можна висловити припущення про існування

прямого кореляційного зв'язку між щільністю розривних порушень та коефіцієнтом інтенсивності структуроутворення.

Розрахунки виду кореляційної залежності $\Psi_{\text{п}}=f(i)$ проводились за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми методом найменших квадратів окремо для структур кожного з трьох тектонічних ярусів. Одержані залежності виражаються такими рівняннями регресії (рис. 1 В):

- для складок першого ярусу

$$\Psi_{\text{п}}=0,65+0,19i;$$

- для складок другого ярусу

$$\Psi_{\text{п}}=0,53+0,25i;$$

- для складок третього ярусу

$$\Psi_{\text{п}}=0,59+0,22i.$$

Коефіцієнти парної кореляції відповідно становлять 0,85; 0,82 та 0,83, що вказує на досить тісний зв'язок між досліджуваними параметрами. Надійність такого кореляційного зв'язку підтверджується відповідно критерію Фішера.

- для структур першого ярусу:

$$\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,85}{1-0,85} \sqrt{30-1} = 6,77 > 2,5;$$

- для структур другого ярусу:

$$\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,82}{1-0,82} \sqrt{42-1} = 7,4 > 2,5;$$

- для структур третього ярусу:

$$\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0,83}{1-0,83} \sqrt{33-1} = 6,72 > 2,5.$$

Таким чином, аналіз встановлених кореляційних зв'язків вказує на існування між окремими кількісними показниками структур Бориславсько-Покутської зони стохастичних залежностей, які виражаються відповідними рівняннями регресії з високим ступенем надійності коефіцієнтів кореляції. За цими залежностями можна оцінювати окремі параметри структур Бориславсько-Покутської зони для з'ясування їх ролі в процесі складкоутворення [12].

Групування складчастих структур кластер-аналізом. Це математичний метод формування (класифікації) однорідних груп об'єктів за даними багатовимірних вимірів на цих об'єктах. В процесі кластерного аналізу нафтогазогеологічної інформації виділяють групи (класи) близьких між собою нафтогазогеологічних об'єктів за даними вимірів на цих об'єктах деякої сукупності величин..

В цілому кластерний аналіз проводиться в такій послідовності [1]:

1) відбір вибірки для кластеризації;

2) визначення множини ознак, за якими будуть оцінюватись об'єкти у вибірці;

3) обчислення значень тої чи іншої міри подібності між об'єктами;

4) застосування процедури кластеризації для створення груп подібних між собою об'єктів.

Для проведення кластер-аналізу досліджуваних структур Бориславсько-Покутської зони нами використовувався пакет програм "statistica". Серед різноманітних методів кластеризації наявних в цьому пакеті, найбільш ефективним виявився метод середніх зв'язків, який полягає в обчисленні середньої подібності об'єкта, що розглядається, відносно всіх об'єктів в існуючому кластері. Якщо знайдене середнє значення подібності досягає або перевищує деякий пороговий рівень подібності, об'єкт приєднується до цього кластеру. На відміну від варіанту, коли обчислюється подібність між центрами тяжіння двох кластерів, які підлягають об'єднанню, нами використовувався варіант методу середніх зв'язків, в якому обчислюється середня арифметична подібність між об'єктами кластера і кандидатом на включення.

В результаті проведеного кластерного аналізу отримали дендрограму (рис. 2), аналіз якої дозволив серед складчастих форм Бориславсько-Покутської зони виділити чотири кластери (групи) структур, позначених відповідно синім, рожевим, коричневим та зеленим кольорами). Аналіз розподілу структур за кластерами засвідчив, що вони (структури) об'єднані в групи між собою за генетичною ознакою.

Як бачимо з рис. 2, у першому кластері структур на мезорівні виділяється три групи структур, які тісно пов'язані між собою. У другому кластері виділяється дві групи, у третьому кластері – три групи і у четвертому кластері – одна група. В кожній з цих груп виділяються структури, об'єднані між собою в кластери на мікрорівнях.

Детальний аналіз структури взаємозв'язків між складчастими формами, об'єднаними в один кластер, дає підстави зробити висновок, що основним параметром, за яким відбувалось групування об'єктів на середніх і макрорівнях, виступає амплітуда структури. При формуванні складчастості завжди відбувається збільшення ділянки деформації у вертикальному напрямку по головній осі деформації А. Групування об'єктів на мікрорівнях проводяться за сукупністю всіх інших показників (структурно-тектонічні, лінійно-геометричні, порушеності), які характеризують ділянку деформації в горизонтальному напрямку, за яким відбувалось її скорочення (осі деформації В і С).

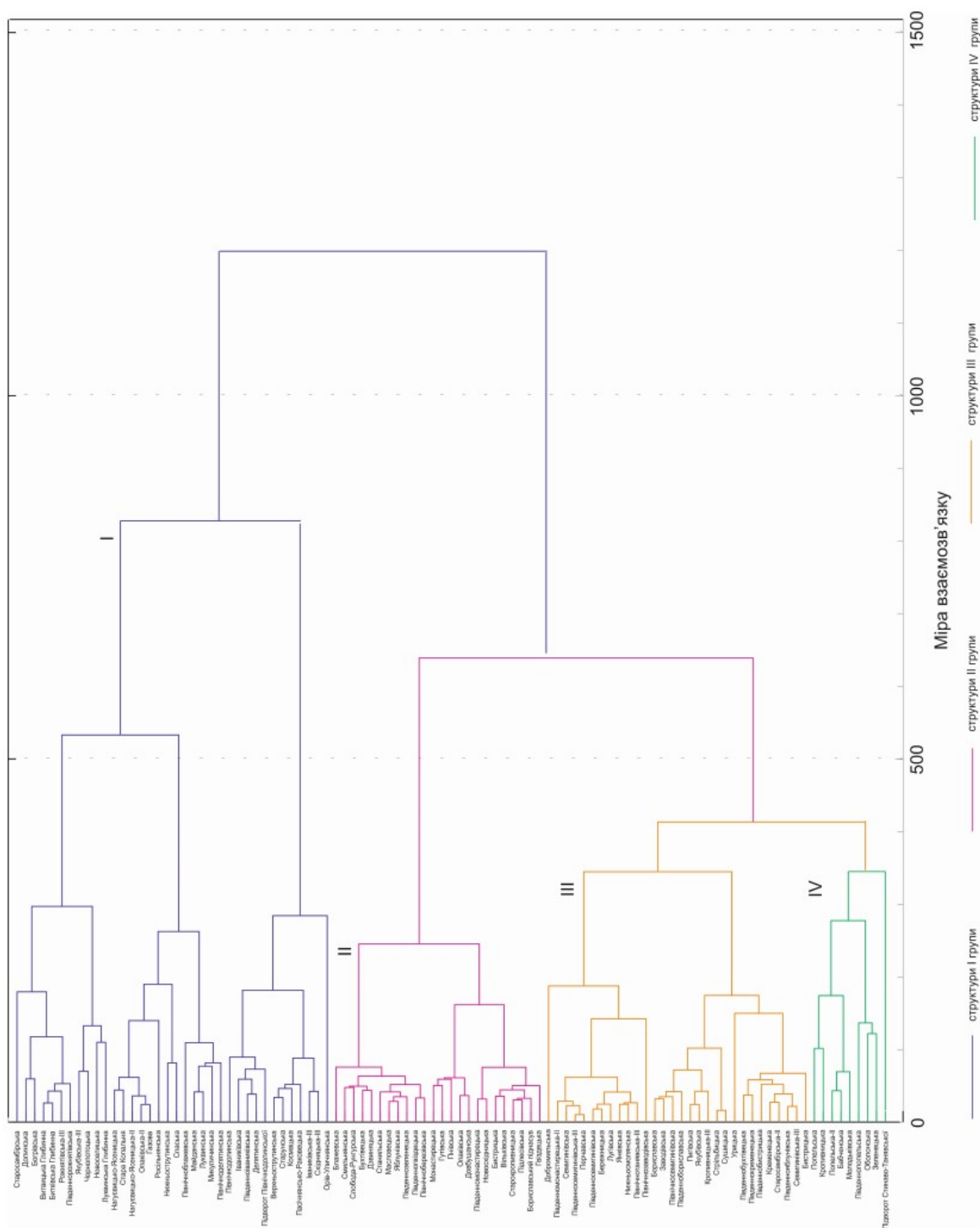


Рисунок 2 – Дендрограма групування структур Бориславсько-Покутської зони за комплексом кількісних показників

Література

В цілому найменший кластер об'єднує дві структури, які сформувались під дією тектонічних сил однакової величини, що спричинило однакове скорочення ділянки деформації при однаковому прирості амплітуди. На це вказує подібність значень всіх кількісних показників при однаковій амплітуді. Такі кластери об'єднуються з кластерами, в яких згруповані структури також з однаковими показниками, але вже відмінними від показників попереднього кластеру при однаковій амплітуді. До цих кластерів приєднуються структури (або їх кластери), які мають відмінні кількісні показники, в тому числі із більшою амплітудою.

З метою визначення діапазону зміни кількісних показників для кожного з чотирьох виділених кластерів складчастих структур було побудовано діаграми їх розподілу (рис. 3).

Висновки

Аналіз цих графічних побудов показує, що структури, згруповані в один кластер, характеризуються притаманними їм кількісними показниками і відзначаються таким:

1) чітким об'єднанням структур в групі відбувається за трьома взаємопов'язаними показниками (коефіцієнт інтенсивності структуроутворення, напруженість гірських порід та щільність тектонічних порушень) та за кутом нахилу осьової поверхні;

2) для складок, об'єднаних в другу і третю групи площі, об'єми та лінійні розміри змінюються в одному інтервалі;

3) складки, об'єднані в третю і четверту групи, характеризуються амплітудами, що мають однаковий інтервал зміни;

4) складки кожної групи мають значення коефіцієнтів поздовжнього та поперечного порушення, які змінюються в одному інтервалі.

Таким чином, проаналізувавши сказане вище, можна стверджувати, що складки, сформовані тектонічними рухами різної величини та напрямку прикладання, характеризуються різними числовими параметрами, що підтверджується побудованими дендрограмою та діаграмами. Цей висновок прийнятий за основу запропонованої нижче класифікації.

1. Лозинський О.Є., Лозинський В.О., Мавєський Б.Й., Гладун В.В., Чепіль П.М. Математичні методи в нафтогазовій геології: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Івано-Франківськ: Факел, 2008. 276 с.

2. Шестаков Ю.Г. Математические методы в геологии. Красноярск: изд-во Красноярского университета, 1988. 206 с.

3. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. / Под ред. И.С. Енюкова. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

4. Гзовский М.В. Математика в геотектонике. М.: Недра, 1971. 240 с.

5. Белоусов В.В. Геотектоника. М.: Изд-во МГУ, 1976. 334 с.

6. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок. М.: Недра, 1981. 245 с.

7. Яковлев Ф.Л. Диагностика механизмов образования линейной складчатости по количественным критериям ее морфологии (на пример Большого Кавказа). М.: ОИФЗ РАН, 1997. 76 с.

8. Orlov A.A., Omelchenko V.G., Trubenko O.M., Mykhailiv I.R., Petrov A.V. Assessment of overthrust sheet dislocations of folded Carpathians zones to West-European platform in quantitative form International conf. Carpathian foredeep basin – its evolution and mineral resources. Krakow, 1999. P.154.

9. Михайлів І.Р. Залежність кута падіння порід на крилах структури від коефіцієнту інтенсивності структуроутворення. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 1999. Вип. 36. Том 1. С. 57-63.

10. Михайлів І.Р., Омельченко В.Г. Залежність щільності розривних порушень від коефіцієнту інтенсивності структуроутворення для складок Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. Івано-Франківськ. 2000. Вип. 37. Том 1. С. 111-113.

11. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике: пер. с нем. М.: Финансы и статистика, 1982. 278 с.

12. Аронский А.А., Беличенко П.В., Гинтов О.Б., Муровская А.В. Кинематические параметры деформирования верхних горизонтов земной коры Украинских Карпат в миоцен-плейстоценовую эпоху (по тектонофизическим данным). *Геофизический журнал*. 1995. № 3. Том. 17. С. 3-13; С. 11-19; С. 58-67.

References

1. Lozynskiy O.Ie., Lozynskiy V.O., Maievskiy B.I., Hladun V.V., Chepil P.M. Matematychni metody v naftohazovii heolohii: pidruchnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv. Ivano-Frankivsk: Fakel, 2008. 276 p. [in Ukrainian]
2. Shestakov Yu.G. Matematicheskie metody v geologii. Krasnoyarsk: izd-vo Krasnoyarskogo universiteta, 1988. 206 p. [in Russian]
3. Faktorniy, diskriminantnyy i klasterniy analiz: per. s angl. / Pod red. I.S. Enyukova. M.: Finansy i statistika, 1989. 215 p. [in Russian]
4. Gzovskiy M.V. Matematika v geotektonike. M.: Nedra, 1971. 240 p. [in Russian]
5. Belousov V.V. Geotektonika. M.: Izd-vo MGU, 1976. 334 p. [in Russian]
6. Yaroshevskiy V. Tektonika razryivov i skladok. M.: Nedra, 1981. 245 p. [in Russian]
7. Yakovlev F.L. Diagnostika mehanizmov obrazovaniya lineynoy skladchatosti po kolichestvennyim kriteriyam ee morfologii (na primere Bolshogo Kavkaza). M.: OIFZ RAN, 1997. 76 p. [in Russian]
8. Orlov A.A., Omelchenko V.G., Trubenko O.M., Mykhailiv I.R., Petrov A.V. Assessment of overthrust sheet dislocations of folded Carpathians zones to West-European platform in quantitative form International conf. Carpathian foredeep basin – its evolution and mineral resources. Krakow, 1999. P.154.
9. Mykhailiv I.R. Zalezhnist kuta padinnia porid na krylakh struktury vid koefitsiientu intensyvnosti strukturoutvorennia. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch.* 1999. Vol. 36. Tom 1. P. 57-63. [in Ukrainian]
10. Mykhailiv I.R., Omelchenko V.H. Zalezhnist shchilnosti rozryvnykh porushen vid koefitsiientu intensyvnosti strukturoutvorennia dlia skladok Boryslavsko-Pokutskoi zony Peredkarpatskoho prohynu. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. Ivano-Frankivsk.* 2000. Vol. 37. Tom 1. P. 111-113. [in Ukrainian]
11. Myuller P., Noyman P., Shtorm R. Tablitsy po matematicheskoy statistike: per. s nem. M.: Finansy i statistika, 1982. 278 p. [in Russian]
12. Aronskiy A.A., Belichenko P.V., Gintov O.B., Murovskaya A.V. Kinematicheskie parametry deformirovaniya verhnih gorizontov zemnoy koryi Ukrainskih Karpat v miotsen-pleystotse-novuyu epohu (po tektonofizicheskim dannym). *Geofizicheskyy zhurnal.* 1995. No 3. Tom.17. P. 3-13; P.11-19; P.58-67. [in Russian]