

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ, ГЕОТЕКТОНІКА
ТА ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 551.244

О. Іванік, д-р геол. наук, доц.
Л. Тустановська, здобувач

**ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСИЧНИХ МЕТОДИК СТРУКТУРНО-МОРФОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ НОВІТНЬОГО ТЕКТОГЕНЕЗУ НА ОСНОВІ ГІС**

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.В. Шевчуком)

Визначено методичні підходи до реконструкції геоморфогенезу та новітнього тектогенезу на основі застосування структурно-морфометричного аналізу. Адаптовано класичну методику морфометричних досліджень до середовища ГІС із застосуванням функціональних можливостей просторового аналізу та моделювання. Проаналізовано специфіку застосування даної методики у різних ландшафтно-кліматичних та структурно-тектонічних умовах. Підтверджено необхідність комплексного підходу до застосування структурної морфометрії із повним спектром геологічних досліджень.

Consideration is given to the general technique of geomorphogenesis and neotectonogenesis reconstruction on the base of structural-morphometric analysis. The classical morphometric technique is adapted to GIS with the applying of spatial analysis and spatial modeling. The possibility of this technique applying in the different landscape-climatic and structural-tectonic conditions is analyzed. The necessity of the complex using of the structural morphometry and geological research is proved.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Будова рельєфу та його морфологічні особливості є виразом складної взаємодії ендегенних та екзогенних рельєфоутворюючих процесів, що характеризуються різною інтенсивністю впродовж певних етапів еволюції рельєфу. Загальний аналіз просторово-часових закономірностей розвитку рельєфу підтверджує багатофакторність цих процесів, однак на перший план виходять питання пріоритетності дії кожного з факторів, а також їх взаємозалежність за певних обставин із різною комбінацією літолого-стратиграфічних умов території, тектонічних процесів, геоморфологічної будови, гідрогеологічної ситуації тощо. Визначення особливостей новітнього тектогенезу для територій із різними ландшафтно-кліматичними та структурно-тектонічними умовами становить одну із проблем як теоретичної, так і прикладної спрямування. Безумовно, її розв'язання забезпечується багатьма методами, однак інформативність кожного з них є обмеженою у зв'язку із відмінністю та складністю геологічної будови певних регіонів, їх багатетапною еволюцією, різною розчленованістю рельєфу тощо. Виявляється, що однією із результативних методик дослідження тектонічних процесів та структур є структурно-морфометричні дослідження сучасного та палеорельєфу у зв'язку із можливістю побудови різногенетичних та різновікових поверхонь рельєфу та реконструкцією його розвитку на основі морфометричного аналізу. Розробником комплексної методики структурно-морфометричного аналізу є В.П. Філософов [5], її використано багатьма дослідниками переважно для аналізу рельєфу та тектоніки платформних областей у зв'язку із пошуком перспективних нафтогазоносних структур [2, 3 та ін.]. Однак застосування цієї методики має певні обмеження та труднощі. Так, у межах гірсько-складчастих областей інтерпретація морфометричних карт є утрудненою і до нашого часу недостатньо розробленою у зв'язку із складними тектонічними процесами, наявністю значної кількості дислокаційних порушень різного генезису та морфології, і, відповідно, нечіткою вираженістю різновікових та різногенетичних поверхонь. У зв'язку з цим постає проблема визначення можливостей та особливостей застосування цієї методики для областей із різним тектонічним режимом та тектонічною еволюцією впродовж новітнього етапу. Окрім того, запропонована В.П. Філософовим методика є трудоміскою, вимагає багатоетапного проведення різноманітних картометричних побудов, у зв'язку з чим вона не отримала широкого застосування. Безумовно, що адаптація даної методики до середовища ГІС дозволяє автоматизувати низку операцій аналізу гіпсометричних поверхонь та при-

швидшити процес побудови морфометричних карт, що сприятиме більш широкому застосуванню чутливої методики структурної морфометрії для областей із різною геологічною будовою та тектонічним режимом.

Методика структурно-морфометричних побудов на основі ГІС. Морфометричний метод є одним із геоморфологічних методів, який вивчає кількісні характеристики форм земної поверхні. Морфометрія використовує різні способи вимірювання лінійних, площинних та об'ємних картографічних об'єктів. Структурна морфометрія, що спрямована на дослідження різномасштабних тектонічних структур та виявлення вертикальних рухів земної кори, є інструментом виявлення генетичного зв'язку між геоморфологічними та тектонічними процесами, між формами земної поверхні та структурами земної кори.

Методика структурної морфометрії В.П. Філософова ґрунтується на побудові низки структурно-морфометричних карт, що характеризують різновисотні поверхні, інтерпретація яких дозволяє відновити етапність розвитку рельєфу певної території та реконструювати її тектонічну еволюцію. При цьому аналізується як гіпсометрична поверхня, так і долина сітка, яка, за твердженням автора, є відображенням тектонічного режиму території, а порядок річкових долин має пряму залежність від геологічного віку. При структурно-морфометричних дослідженнях виконується низка морфометричних побудов на основі різномасштабних топографічних карт. Вибір масштабу диктується адекватною точністю зображення рельєфу, необхідною для реконструкції його розвитку і відтворення активності та амплітуд неотектонічних рухів. Слід зазначити, що використання середньо- та крупномасштабних карт є найбільш прийнятним, оскільки саме на крупномасштабних картах зображено всі ерозійні форми (річки, улоговини, яри, тальвеги сухих долин, балок та інших споріднених понижень), що аналізуються в процесі морфометричних побудов.

За класичною методикою структурної морфометрії етапність морфометричних побудов спрямовується на створення карт порядків долин та вододільних ліній, карт базисних поверхонь, карт вершинних поверхонь, карт різниці між вершинно-базисними поверхнями одного порядку, карт різниці між базисними поверхнями суміжних порядків, карт різниці між вершинними поверхнями суміжних порядків, карт залишкового рельєфу та асиметрії форм рельєфу. Саме ці карти є основою інтерпретації морфології палео- та сучасного рельєфу з метою відтворення новітнього тектогенезу дослідженої території, оскільки характеризують етапність його фор-

мування та морфологічний вигляд на різних стадіях розвитку. Безумовно, необхідність та повнота їх побудови визначається характером морфології рельєфу та геолого-структурними характеристиками території.

Для аналізу рельєфу та його морфогенетичних особливостей є можливим використання технологій геоінформаційних систем, зокрема програмного забезпечення ArcGIS 9.3 (ESRI) та його спеціалізованих модулів із потужними функціональними можливостями загального просторового аналізу, картометричних побудов, перетворення та аналізу ізолінійних та ґрід-поверхонь і просторово-часового моделювання.

При виконанні структурно-морфометричних побудов у середовищі ГІС виконуються наступні процедури:

- векторизація топографічних карт;
- створення геореляційної бази даних із відповідною організацією даних щодо долинної мережі та різногенетичних поверхонь рельєфу;
- створення цифрової моделі рельєфу;
- побудова серії морфометричних карт та аналіз ізолінійних та ґрід-поверхонь;
- виконання просторового аналізу та інтерпретація створених карт.

На першому етапі структурно-морфометричного аналізу проводиться оцифрування топографічних карт досліджуваного регіону із відповідною векторизацією горизонталей рельєфу та долинної сітки. Для цього виконується злиття аркушів карт та їх підгонка. Безумовно, наявність цифрових топографічних карт підвищує ефективність методики та дозволяє використовувати в автоматичному режимі функції аналізу растрових моделей для наступних побудов.

Аналіз рельєфу та побудова різнохарактерних морфометричних карт потребують створення реляційної бази геоданих, яка містить поєднану картографічну та атрибутивну інформацію щодо різнопорядкових долин та притоків, а також різногенетичних поверхонь рельєфу. Для побудови цієї геобазы даних, що об'єднує набори класів об'єктів, автономні об'єктні класи, класи просторових об'єктів, класи відношень та атрибутивні домени, використовуються загальні принципи побудови аналогічних баз [1].

Основою для всіх наступних морфометричних побудов є гіпсометрична поверхня та карти порядків долин (рис.1) і вододільних ліній.

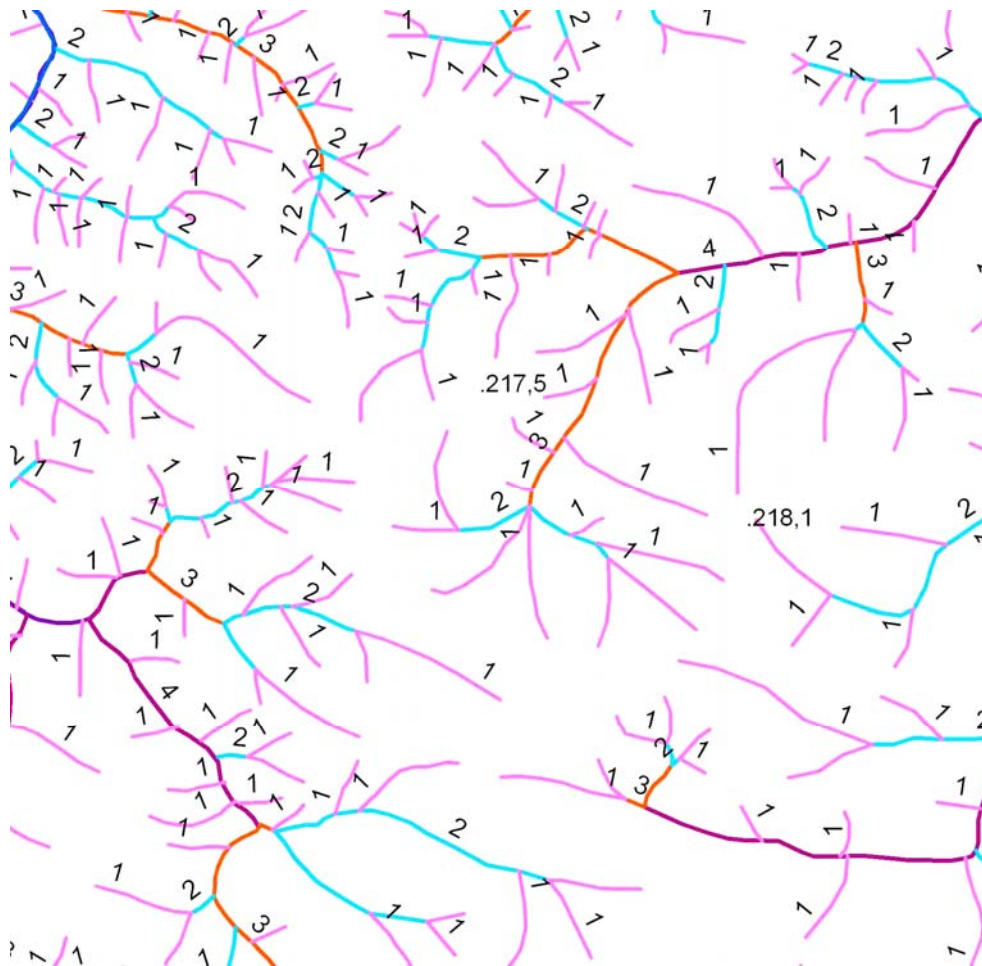


Рис.1. Фрагмент карти порядків долин

Гіпсометрична поверхня отримується за аналізом відміток векторизованих горизонталей та їх наступною інтерполяцією, або за методикою, запропонованою у роботі [6]. Пропонується використання функції *topogrid* (ArcInfo Workstation), що дозволяє розраховувати модель рельєфу з урахуванням не тільки просторового положення ізоліній рельєфу та відміток висот, але і розташування річкової сітки, закритих водойм та локальних понижень у рельєфі. Вибір розміру комірки ґрида

визначається необхідною точністю для проведення регіональних досліджень та оперативністю розрахунків.

Для побудови карти порядків долин необхідно векторизувати лінійні об'єкти гідрографічної сітки та генералізувати полігональні водні об'єкти. Для визначення порядку долин використовується дихотомічна класифікація, яка є найбільш прийнятною при структурно-морфометричних дослідженнях [6]. При цьому за потоки першого порядку прийнято елементарні долини, в які не

впадає жоден потік. Долини другого порядку визначаються як такі, що утворені при злитті двох долин першого порядку. Долини третього порядку формуються при злитті двох долин другого порядку і т. д. Зауважимо, що визначення порядку долин потребує обов'язкового уточнення у польових умовах, оскільки існують ситуації, коли на топографічних картах не показано усі водотоки (наприклад, першого порядку – промоїни, ритвини, борозни тощо), у зв'язку з чим частина інформації щодо закладення річкової сітки опиняється втраченою. Особливо це стосується дрібномасштабних топографічних карт, які зазвичай використовуються для регіональних досліджень. Окрім того, у межах долин одного порядку може спостерігатись декілька етапів врізання, що виявляється у формуванні уступів, терас (як річкових, так і пролювіальних), які не зображуються на картах. Частково ця проблема вирішується за рахунок застосування спеціальних гідрологічних функцій FLOWDIRECTION, FLOWACCUMULATION, STREAMORDER [6], на основі яких будується растрова модель водних потоків, на якій визначаються також тимчасові потоки, не винесені на топографічну карту. Однак навіть такі побудови також потребують обов'язкової верифікації у польових умовах через необхідність врахування морфологічних характеристик річкових долин та аналіз їх зміни внаслідок імпульсних тектонічних рухів.

Векторизація вододільних ліній різних порядків також потребує певних уточнень та деталізації, оскільки їх планові зображення на крупномасштабних топографічних картах є нечіткими. Векторизація вододільних ліній та визначення їх порядків проводиться по аналогії із векторизацією долин і підпорядковується дихотомічній класифікації. Однак, визначення вказаним способом порядків вододільних ліній не збігається із порядками долин, басейни яких вони оконтурюють. Порядки вододільних ліній як правило, є або вищими, або нижчими порядків долин. Необхідно відмітити, що вододільні лінії виникають одночасно з долинами, стік яких вони розділяють. Це дуже добре видно у випадку долин нижчих порядків. По мірі збільшення порядку долин та ускладнення малюнку річкових систем, зв'язок вододільних ліній з однопорядковими долинами може ускладнюватись. Можливою є побудова карти порядків вододільних ліній на основі аналізу цифрової моделі рельєфу при заміні координати Z на $Z\phi = Z^*(-1)$. Таким чином на основі функції TOPOGRID отримують поверхню оберненого рельєфу, де річкові долини зображуються гребенями, а вододіли є аналогами річкової сітки [6]. Із використанням операцій гідрологічного моделювання створюється карта порядків вододільних ліній. Карти порядків долин та вододільних ліній використовують для аналізу ділянок гідросітки та форм рельєфу з метою виявлення зон тріщинуватості та розривних порушень.

Наступним кроком структурно-морфометричних побудов є створення карт базисних поверхонь, що являють собою складні поверхні, які об'єднують місцеві бази ерозії. Основою для побудов базисних поверхонь є точки перетину тальвегів із горизонталями рельєфу, які з'єднуються плавною лінією (ізобазитою). Для побудови ізобазит необхідно створити класи просторових об'єктів лінійного типу геометрії. Для знаходження перетину річкових потоків та ізоліній рельєфу можна використовувати спеціальний модуль Intersect Lines (ArcView GIS). Аналогічну операцію можна проводити і у межах растрової моделі, однак при цьому значно знижується просторова точність побудов [6].

Проведення ізобазит проводиться від найнижчих долин до їх верхів'їв. Карта базисних поверхонь першого порядку будується по долинах першого порядку, ба-

зисна поверхня другого порядку – по карті долин другого порядку і т.д. Базисні поверхні першого порядку практично повторюють обриси сучасної гіпсометричної поверхні. Базисні поверхні вищих порядків є відмінними від сучасних морфологічних комплексів. Зазвичай базисні поверхні вищих порядків є вкладеними в поверхні нижчих порядків (інколи спостерігається деякі виключення з правил).

Для побудови карт вершинних поверхонь різних порядків (ізогіпсобазит) створюються класи просторових об'єктів лінійного типу геометрії та виконуються процедури, аналогічні створенню карт базисних поверхонь із врахуванням порядків вододільних ліній. Основою для побудови цих карт є точки перетину горизонталей із вододільними лініями. Отримані таким чином вершинні поверхні фіксуються вище поверхонь сучасного рельєфу, дотикаючись до них тільки вододільними лініями відповідного порядку. Форми та висоти вершинних поверхонь залежать від порядку вододільних ліній, за якими вони будуються. За допомогою аналізу вершинної поверхні можна визначити гіпотетичне морфологію рельєфу за умов відсутності денудаційних процесів. Як правило, вона являє собою верхню межу відміток рельєфу, спліваючи із найбільш давньою поверхнею вирівнювання.

Для побудови та аналізу базисних та вершинних поверхонь рельєфу слід використовувати TIN-модель (Triangulated Irregular Network), яка представляє 3-вимірні дані (відмітки висот) у вузлах нерегулярної трикутної сітки. TIN являє собою поверхню, що відображає зміну заданої характеристики. TIN-модель рельєфу являє собою багатогранну поверхню – нерегулярну сітку трикутників, вершинами яких є вихідні опорні точки, а також точки метрики структурних ліній і площ заповнення постійним значенням.

Для побудови TIN використовується спеціалізований модуль Spatial Analyst, із використанням якого векторні теми ізобазит та ізогіпсобазит перетворюються у растровий формат та використовуються доступні аналітичні можливості грід-аналізу: створення поверхонь, буферизація просторових об'єктів та інші (рис.2). Надалі слід провести інтерполяцію поверхонь з використанням різних методів інтерполяції – зворотньо зважених відстаней та сплайну (створення поверхонь із мінімальною кривизною). Програмні можливості спеціалізованих модулів дозволяють порівняти різницю висот між вершинами кожної грані TIN з відповідними горизонтальними відстанями.

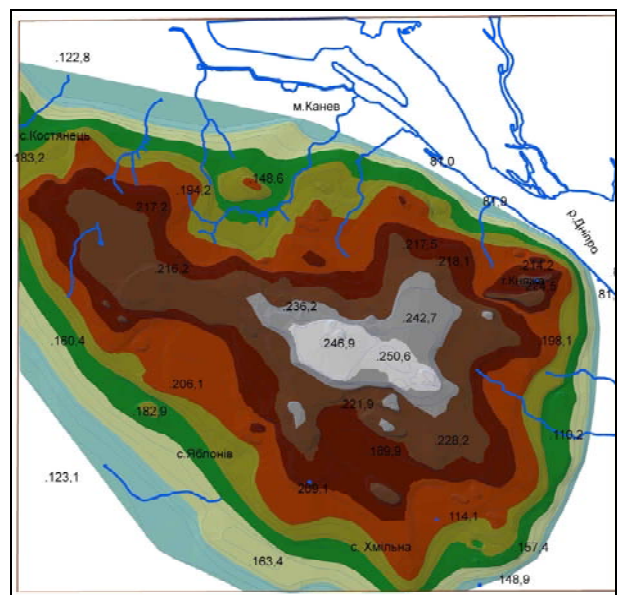


Рис.2. Фрагмент вершинної поверхні

Наступні аналітичні операції з виконання грід-аналізу також використовують функціональні можливості спеціалізованих модулів 3D Analyst та Spatial Analyst. Так, зокрема, є можливим проведення статистичного аналізу побудованих морфометричних поверхонь із отриманням даних щодо максимальних та мінімальних висот, їх розподілу та стандартного відхилення.

Для виявлення новітніх та сучасних рухів земної кори, для кількісної оцінки амплітуд вертикальних рухів, а також для окреслення локальних структур, які утворилися в результаті цих рухів, найбільш інформативними є карти різниць базисних, вершинних та вершинно-базисних поверхонь. Різниці базисних поверхонь створюються шляхом графічного віднімання базисної поверхні вищого порядку (третього, четвертого і т.д.) із поверхні нижчого (другого, третього і т.д.) порядку.

Віднімання базисних поверхонь виконується за методом П.А. Рижова [4]. Графічне віднімання суміжних базисних поверхонь виконується шляхом накладання однієї базисної поверхні на іншу – суміжну. Різниці вершинних поверхонь отримуються шляхом графічного віднімання вершинної поверхні нижчого (другого, третього і т.д.) із вершинних поверхонь вищих (третього, четвертого і т.д.) порядків.

Найвідповідальнішим етапом структурно-морфометричного аналізу є інтерпретація побудованих морфометричних карт. Найбільш складними формами характеризуються морфометричні поверхні гірсько-складчастих областей із значно розчленованим рельєфом. Наявність складних дислокаційних форм та постійна зміна морфології рельєфу ускладнюють форму різногенетичних поверхонь і утруднюють завдання їх відтворення. Однак слід зазначити, що саме у цих районах структурно-морфометричний метод є найбільш інформативним, оскільки дозволяє виявити низку різнопорядкових тектонічних структур за характерними морфометричними ознаками, особливо у межах тих районів, де вивчення їх прямими геологічними методами є практично неможливими у зв'язку із закритістю територій, дуже розчленованим рельєфом тощо. Так, у межах областей, де рельєф являє собою низькогір'я або середньогір'я, локальні тектонічні структури виявляються шляхом сумісної інтерпретації карт базисних поверхонь і залишкового рельєфу, а також карт вершинних поверхонь та локального розмиву низьких порядків. Це дозволяє уточнити тектонічні схеми досліджуваних територій та виявити особливості виразу тектонічних структур у рельєфі (прямий або інверсійний).

УДК 551.247.1:551.248.1(477.53)

Значні відмінності в інтерпретації створених морфометричних карт обумовлені також різними ландшафтно-кліматичними умовами різноширотних зон, що пояснюється розвитком різногенетичного рельєфу, наявністю морфоскульптурних форм різної морфології, відмінною інтенсивністю денудаційних процесів та ін. Ці обставини також повинні враховуватись при обґрунтуванні кінцевих висновків щодо еволюції рельєфу та тектонічних структур.

Висновки. Продемонстровано можливість адаптації класичної методики структурно-морфометричного аналізу до середовища ГІС із застосування просторового аналізу та моделювання, що дозволяє отримати адекватні моделі різногенетичних поверхонь палео- та сучасного рельєфу. Підтверджено найвищу інформативність карт різниць базисних поверхонь між суміжними порядками для кількісної оцінки амплітуд вертикальних рухів та виявлення локальних активних структур. Інтерпретація отриманих карт дозволяє провести ґрунтовний аналіз розвитку рельєфу в новітній час, визначити етапність його формування та реконструювати тектонічну еволюцію регіону. Виділення окремих морфологічних елементів рельєфу та їх кількісний аналіз потребують обов'язкових уточнень за даними польових спостережень. Представлена методика структурно-морфометричних досліджень рельєфу у комплексі з геологічними методами та ґрунтовним геологічним аналізом є основою для відтворення тектонічних рухів та геолого-геоморфологічної будови певного регіону і може бути застосована для реконструкції новітнього тектогенезу у регіонах із розчленованим рельєфом та складною геологічною будовою, зокрема у Карпатах, Канівському Придніпров'ї та інших.

1. Ішук О. О., Коржнев М. М., Кошляков О. Є. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС. – К., 2003. 2. Мироненко В.И. Использование морфометрических методов анализа рельефа дневной поверхности для изучения неотектонических движений в нефтегазоносных регионах (на примере Сребненской впадины ДДВ и ее обрамления) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2007. – С.252-258. 3. Мкртчян О.С., Чупило Г.Р. Геоінформаційний аналіз просторових зв'язків морфометрії рельєфу із геологічною структурою (на прикладі західної частини вододільно-верховинських та полонинських Карпат) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2008. – С. 167-178. 4. Рижов П.А. Геометрия недр. – М., 1964. 5. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. – Саратов, 1960. 6. Чернова И.Ю., Хасанов Д.И., Жарков И.Я. [и др.] Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС // Arcreview. – №1 (32). – 2005.

Надійшла до редколегії 06.09.10

О. Олійник, здобувач

ПАЛЕОТЕКТОНІЧНА РЕКОНСТРУКЦІЯ РОЗВИТКУ СКОРОБАГАТЬКІВСЬКОЇ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. В.В. Озарем)

На основі побудов палеогеологічних розрізів визначено основні етапи тектонічного розвитку та розроблено модель Скоробагатківської солянокупольної структури, яка є нафтогазоносною і типовою для Центральної частини Дніпровсько-Донецької западини.

Proceeding from the author-made paleogeological sections, the main stage of the Skorobogatky structure's tectonic development are considered. A model of the Skorobogatky salt dome structure (typical for central part of the Dnieper-Donets Depression) is suggested and discussed.

Вступ. У розрізі девону Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) виділяються дві соленосні товщі: верхня в фаменському і нижня у франському ярусі. В процесі тектонічних рухів девонські соляні породи зазнали інтенсивної пластичної деформації, яка призвела до утворення

численних куполоподібних підняттяв, з якими часто пов'язані поклади вуглеводнів (ВВ). Солі вважаються найкращими покришками, що надійно захищають скупчення ВВ від руйнування. Тому вивчення умов формування соляних структур необхідне для розуміння процесів, які керу-