

УТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАСТОК У ЛОКАЛЬНИХ СОЛЯНИХ СТРУКТУРАХ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

М.В. Лубков, О.О. Захарчук

*Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Мясоедова, 27/29, Полтава 36015, Україна, e-mail: mikhail.lubkov@ukr.net*

З метою дослідження механізмів формування вуглеводневих пасток у локальних структурах Дніпровсько-Донецької западини на основі варіаційного скінченно-елементного методу проведено комп'ютерне моделювання повільних тектонічних рухів усередині соляних товщ зазначених структур. Показано, що найактивніший процес формування вуглеводневих пасток відбувається всередині надрозломних соляних структур, при цьому положисті тектонічні рухи у потужніших соляних товщах спричинюють інтенсивніше формування пасток. Другими за активністю формування пасток є структури короблення. Найменш інтенсивні процеси формування вуглеводневих пасток цієї групи характерні для штампових структур. У локальних соляних структурах II групи вуглеводневі пастки можуть формуватися досить інтенсивно, але ймовірність знайти тут вуглеводневі поклади промислового масштабу значно нижча, ніж у соляних структурах I групи. У соляних структурах III групи ймовірність активного формування вуглеводневих пасток достатньо низька.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, локальні соляні структури Дніпровсько-Донецької западини, формування вуглеводневих пасток.

Вступ. Добре відомо, що локальні структури Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) характеризуються різноманітною будовою, літологією та історією формування. Водночас різноманіття структурних форм зумовлено проявом лише декількох головних структуроутворювальних чинників їх генезису — вертикальними рухами блоків кристалічного фундаменту, регіональними тангенційними рухами і напруженнями та рухами, що пов'язані із соляним тектогенезом [1, 3, 9]. Морфологія, вік і генезис локальних соляних структур ДДЗ тісно пов'язані з формуванням вуглеводневих пасток і, як наслідок, з нафтогазоносністю. Ці характеристики локальних соляних структур протягом усього циклу геологорозвідувальних робіт у ДДЗ були предметом вивчення багатьма дослідниками у тісному зв'язку з конкретними потребами геологорозвідувальної практики, що відобразилось у розробках відповідних класифікацій цих структур.

Перша класифікація була представлена у статті Ю.О. Косигіна, М.І. Бланка [7]. Автори виділили шість типів локальних соляних структур: з внутрішньодевонським соляним ядром, передкам'яновугільним, передверхньопермським, передкрейдяним, передпалеогеновим і передчетвертинним. У класифікації В.І. Кітика [6] серед соляних піднятих і куполів виділено криптодіапіроїдні, криптодіапірові складки й складки з відкритим ядром протикання. Криптодіапірові підняття автор розділив на чотири підтипи у відповідності до розміщення девонської солі біля передкам'яновугільної, передпермської, передкрейдяної та передпалеогенової поверхонь неузгоджень. У класифікації М.В. Чирвинської [13] серед типів со-

лянокупольних структур за рівнем прориву виділено такі підтипи: закриті та відкриті куполи з урахуванням різниці у стратиграфічних рівнях залягання солі у склепінні та на його схилах. Б.С. Вороб'їов [2] за співвідношенням структурних планів виділив два типи локальних структур: мономорфні (однопланові) та гетероморфні (різнопланові), а також декілька видів — конформні, зсунуті, накладені, поховані структури. Узагальненим синтезом усіх попередніх класифікацій локальних соляних структур ДДЗ є генетична класифікація структур, яку розробили В.М. Смелянський та Б.П. Кабишев [5, 12]. У цій класифікації всі локальні структури западини розділено на два класи: несоляні й соляні. Зокрема, у несоляних структурах виділено такі типи.

1. Прирозломні структури, що розміщуються в опущених крилах великих скидів. Утворюються, якщо розривне порушення фундаменту на стадії прогинання регіону безпосередньо проникає в осадовий чохол, що приводить до процесу скидання.

2. Надрозломні структури, що утворюються, якщо розривне порушення фундаменту на стадії прогинання регіону не проникло в осадовий чохол, а рухи уздовж нього спричинили виникнення в осадовому чохлі флексури з опущеним у бік осі западини крилом.

3. Штампові структури, що утворюються в осадовому чохлі безпосередньо над локальними виступами фундаменту. Вони, як правило, розвинені на бортах западини й у грабені.

4. Структури короблення, що утворюються під дією сил тангенційного стиску порід і мають регіональний характер.

Соляні структури ДДЗ можна розділити на три генетичні групи.

I група характеризується тим, що весь надсолевой комплекс осадових порід незалежно від рівня розміщення девонської солі утворює навколо соляних ядер куполи або антиклінали. Вони формуються внаслідок ускладнення соляною тектонікою основних генетичних типів несоляних структур: прирозломних, надрозломних, штампових і структур короблення. Ядра соляних структур I групи звичайно мають форму соляної подушки або масиву.

У соляних структурах II групи у нижній частині надсолевой товщі відсутні куполоподібні підняття навколо соляних ядер. Останні в усіх випадках мають форму соляних штоків.

Соляні структури III групи у формі штоків розміщуються між великими соляними структурами I групи або на їх перикліналях, відокремлюючись від них компенсаційними мульдами. Їх формування також пов'язане з регіональними рухами і напруженнями.

Для виявлення механізмів формування вуглеводневих пасток важливого значення набувають дослідження повільних рухів усередині соляних товщ указаних структур. У зв'язку з цим становить інтерес моделювання повільних тектонічних рухів усередині генетичних локальних соляних структур ДДЗ з урахуванням діючих механізмів тектогенезу та особливостей будови осадового чохла.

У статті на основі варіаційного скінченно-елементного методу описано моделювання повільних тектонічних рухів усередині локальних соляних структур ДДЗ I—III груп з метою дослідження механізмів формування відповідних пасток вуглеводневої сировини.

Постановка та метод розв'язання задачі. Вважатимемо, що розміри шаруватих фрагментів розрізу осадового чохла розглянутих локальних соляних структур ДДЗ під час рухів фундаменту, розбитого на блоки як вертикальними, так і похилими розломами, набагато менші за розміри цих блоків. Унаслідок цього деформацію відповідного фрагмента можна розглядати як плоску. Нехтуючи анізотропією, що пов'язана з тріщинуватістю порід, для опису механічної поведінки осадового чохла локальних соляних структур ДДЗ скористаємось ізотропною в'язкопружною моделлю Кельвіна—Фойгта [10], коли загальне напруження зсуву при заданих деформаціях і їхніх швидкостях складається з лінійної суперпозиції пружної та в'язкої частин. У такому разі загальна постановка задачі в системі відліку, що жорстко зв'язана з розглянутими тектонічними блоками, має вигляд

$$\rho \ddot{\mathbf{u}}_i + \sigma_{ij,j} + \mathbf{F}_i = 0; \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = 2\mu \varepsilon_{ij} + 2\eta_v \dot{\varepsilon}_{ij} + k\theta \delta_{ij}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\mathbf{u}_{i,j} + \mathbf{u}_{j,i}); \quad (3)$$

$$\sigma_{ij} \mathbf{n}_j - \mathbf{f}_i = 0, \quad \mathbf{u}_i = \mathbf{u}_i^*; \quad (4)$$

$$\dot{\mathbf{u}}_i = \dot{\mathbf{u}}_i^*. \quad (5)$$

Тут (1) — рівняння руху; (2) — реологічні співвідношення Кельвіна—Фойгта; (3) — співвідношення Коші; (4) — граничні умови I і II роду відповідно; (5) — початкові умови; \mathbf{u}_i — компоненти перемішень; σ_{ij} — компоненти тензора напружень; ε_{ij} — компоненти тензора деформацій; \mathbf{F}_i — компоненти об'ємної сили, яка у цьому випадку збігається із силою тяжіння; \mathbf{f}_i — поверхневі зовнішні сили; \mathbf{n}_j — одиничний вектор нормалі до поверхні; ρ — густина; μ — модуль зсуву; k — модуль всебічного стиску; θ — дилатація; η_v — динамічна в'язкість; δ_{ij} — символ Кронекера; (\cdot) , $(\ddot{\cdot})$ — позначення першої та другої похідних за часом; $(\cdot)_{,j}$ — позначення диференціювання компоненти тензора по змінній, яка відповідає j -му індексу; $(*)$ — позначення фіксованої величини переміщення або швидкості, заданої на межі області.

Прийнявши характерну циклічну частоту повільного встановленого процесу за ω , складемо функціонал Лагранжа квазістаціонарної плоскої в'язкопружної задачі з відповідними граничними умовами, що виражає повну механічну енергію досліджуваного об'єкта у нерухомій декартовій системі координат (x, y) [9]:

$$E = \frac{1}{2} \iint_S [C_1(\varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{yy}^2) + 4C_2\varepsilon_{xy}^2 + 2C_3\varepsilon_{xx}\varepsilon_{yy} - \rho\omega^2(u^2 + w^2) - 2\rho g w] dx dy - \int_L (\mathbf{f}_m u + \mathbf{f}_n w) dl, \quad (6)$$

де $C_1 = k + 4(\mu + i\omega\eta_v)/3$; $C_2 = \mu + i\omega\eta_v$; $C_3 = k - 2(\mu - i\omega\eta_v)/3$ — комплексні коефіцієнти; u, w — компоненти переміщень уздовж осей x і y відповідно; g — прискорення сили тяжіння; i — уявна одиниця; S — площа перерізу розглянутого об'єкта; L — контур, що охоплює площу S ; dl — елемент контуру.

Для розв'язання квазістаціонарної плоскої в'язкопружної задачі застосовують метод скінченних елементів, заснований на варіаційному принципі Лагранжа [9—11], що виражає мінімум повної механічної енергії системи:

$$\delta E(u, w) = 0. \quad (7)$$

При розв'язанні варіаційного рівняння (7) використовують восьмивузловий ізопараметричний чотирикутний криволінійний скінченний елемент [9—11]. Як глобальну систему координат, тобто систему, в якій додають всі скінченні елементи, застосовують декартову систему координат (x, y) . Як локальну систему координат, в якій для кожного елемента визначають функції форми і виконують чисельне інтегрування, використовують допоміж-

ну нормалізовану систему координат. При побудові функцій форми, що апроксимують змінні й функції в межах кожного елемента, застосовують квадратичні алгебричні поліноми [11].

Алгоритм скінченно-елементного розв'язання варіаційної задачі (7) полягає у такому [9, 10]. Спочатку в локальній системі координат апроксимуємо усі компоненти переміщень і деформацій, що входять до функціонала Лагранжа (7), з використанням отриманих функцій форми. При цьому кожному вузлу скінченного елемента відповідає своя апроксимаційна складова. Потім диференціюємо функціонал (6) по всіх вузлових складових переміщень і прирівнюємо відповідні похідні до нуля. В результаті для кожного скінченного елемента отримуємо лінійну алгебричну систему, що складається з 16 рівнянь. Далі в глобальній системі координат (x, y) додаємо локальні системи лінійних алгебричних рівнянь по всіх скінчених елементах, на які розбито досліджувану область, і формуємо глобальну систему рівнянь. Глобальну систему лінійних алгебричних рівнянь розв'язуємо за допомогою чисельного методу Гауса [11] і визначаємо компоненти переміщень в усіх вузлових точках скінченно-елементної сітки. За знайденими вузловими переміщеннями визначаємо компоненти переміщень, швидкостей, деформацій, напружень та інші величини у довільній точці скінченного елемента, тобто у будь-якій точці досліджуваної області.

Моделювання утворення вуглеводневих пасток локальних соляних структур ДДЗ. Розглянемо умовні, характерні для ДДЗ розрізи осадових порід, що мають в'язкопружні властивості [1, 4, 14]. Для розглянутих геологічних розрізів припустимо лише наявність соленосних утворень верхнього девону, натомість відклади солі ранньопермського віку вважатимемо відсутніми або такої товщини, що ними можна знехтувати. При моделюванні повільних рухів соляних надрозломних, штампових структур і структур короблення I групи візьмемо таку вибірку осадових порід: від 0 до 2000 м — глини, алеврити; від 2000 до 4000 м — пісковики; від 4000 до 6000 м — шари кам'яної солі; від 6000 до 7000 м — доломіти. При моделюванні штокових локальних соляних структур II і III груп оберемо розріз, що враховує форму соляного штоку: від 0 до 2000 м у верхній звуженій частині штоку — сіль, на периферіях — глини, алеврити; від 2000 до 4000 м у верхній звуженій частині штоку — сіль, на периферіях — пісковики; від 4000 до 6000 м у нижній розширеній частині штоку (соляному ядрі) — сіль, на периферіях — пісковики; від 6000 до 7000 м — доломіти. Для глин, алевритів, пісковиків, кам'яної солі, доломітів виберемо осереднені пружні та в'язкі характеристики: густина — 2300, 2400, 2168, 2800 кг/м³; модуль Юнга — 3,0; 3,5; 3,5; 8,0 (10¹⁰ Па); коефіцієнт Пуассона — 0,1; 0,25; 0,23; 0,30; динамічна в'язкість — 10⁷, 1,4·10²⁰, 2,7·10¹⁸, 4,0·10²⁰ (Па·с) [1, 4, 14].

При моделюванні рухів надрозломних і штампових структур розглянуто симетричні фрагменти розмірами 18 × 7 км, в яких симетрично прилегла ділянка кристалічної підшви завдовжки 7 км у випадку надрозломних структур зазнає занурення зі швидкістю 1 см/рік під різними кутами до горизонту, у випадку штампових структур — підняття вертикально вгору, а також під кутом 60° до горизонту з тією самою швидкістю. При моделюванні сучасних рухів соляних структур короблення розглянуто симетричний фрагмент розміром 18 × 7 км із горизонтальним стисненням прилеглої ділянки кристалічної підшви завдовжки 7 км зі швидкістю 1 см/рік. При цьому в усіх розглянутих випадках неактивну частину горизонтальної підшви і зовнішню бокову межу симетричного фрагмента передбачаємо жорстко зв'язаними з прилеглими породами, а зовнішню поверхню — вільною від навантажень.

При моделюванні сучасних рухів штокових локальних соляних структур II групи досліджено симетричні фрагменти розмірами 18 × 7 км, в яких прилегла до осі симетрії горизонтальна ділянка підшви завдовжки 7 км зазнає занурення під різними кутами до горизонту зі швидкістю 1 см/рік при тих самих граничних умовах. При моделюванні сучасних рухів локальних соляних структур III групи також розглянуто симетричні фрагменти розмірами 18 × 7 км. При цьому підсольова підшва фрагмента є пасивною, а активна бокова межа під дією регіональних рухів стискає соляний шток у горизонтальному напрямку зі швидкістю 1 мм/рік.

Звернемо увагу на те, що при моделюванні повільних рухів локальних соляних структур ДДЗ була прийнята характерна швидкість руху досліджуваної ділянки підшви фундаменту чохла осадових порід 1 см/рік. Така сама характерна швидкість використана у циклі робіт А.С. Григор'єва та співавт. [4] при моделюванні механічної поведінки в чохла осадових порід Прип'ятської западини, що була викликана рухами блоків кристалічного фундаменту вздовж розломів. Зазначимо, що величина горизонтальних стискальних регіональних рухів порядку 1 мм/рік, що була використана при моделюванні, узгоджується з даними, які наведено в монографії З. Кукала [8].

На рис. 1—5 показано симетричні фрагменти просторового розподілу значень вертикальної складової швидкості повільних рухів (мм/рік) досліджуваних соляних структур з урахуванням сили тяжіння.

Аналіз результатів. Установлено особливості динамічної поведінки усіх розглянутих вище локальних соляних структур ДДЗ, отже, різні механізми формування вуглеводневих пасток. За заданої характерної швидкості руху ділянки фундаменту 1 см/рік найінтенсивніших вертикальних рухів зазнають надрозломні соляні структури I групи (див. рис. 1). Максимальні швидкості руху всередині соляних товщ можуть досягти ~1,5 мм/рік. Інтенсивність цих ру-

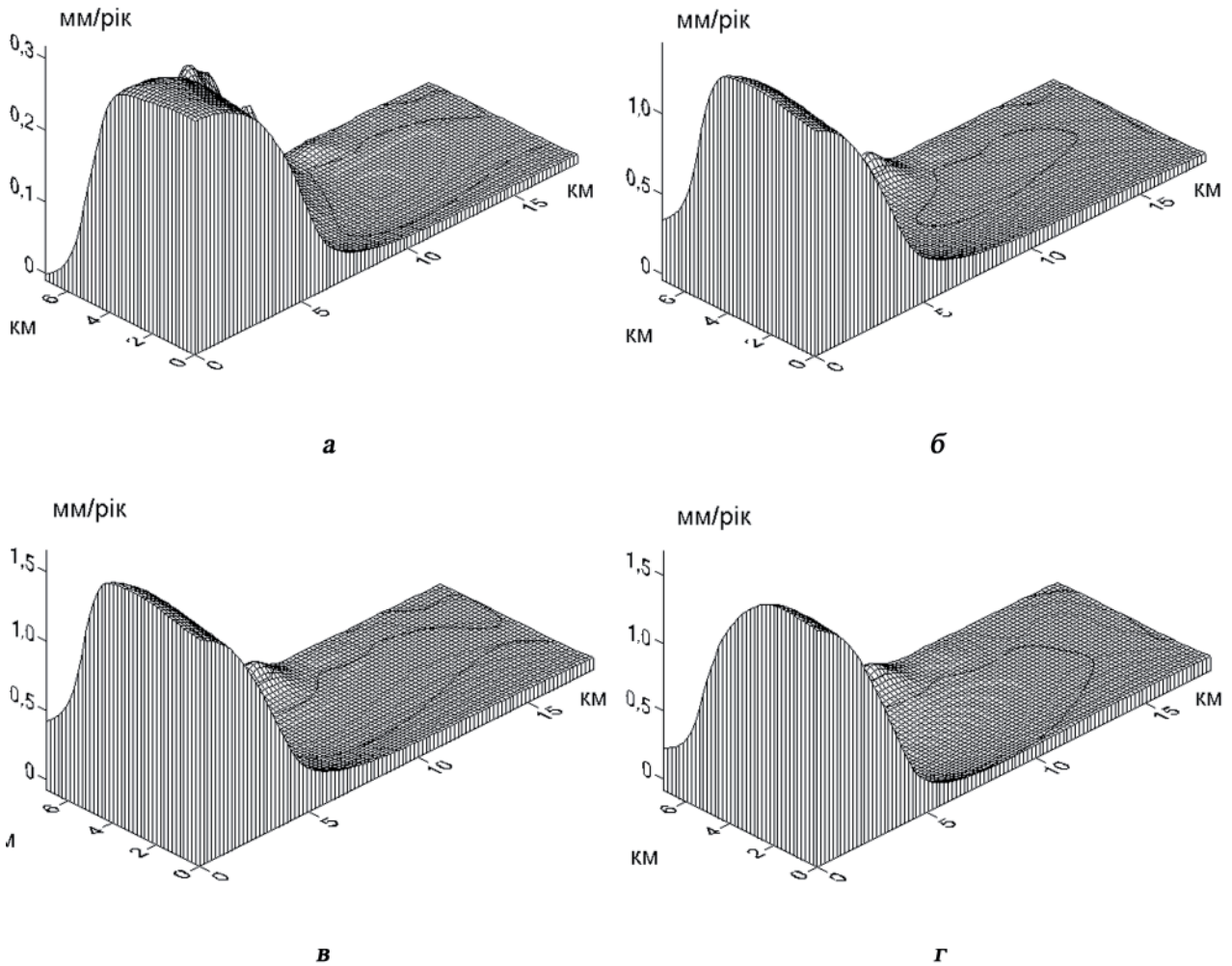


Рис. 1. Розподіл вертикальної складової швидкості повільних рухів надрозломних локальних соляних структур I групи. За-
 нурення горизонтальної ділянки підшови структури зі швидкістю 1 см/рік: а — під кутом 90° до горизонту, б — під кутом
 45°, в — під кутом 30°; г — при заміщенні 1 км верхнього сольового шару пісковиками ($\beta=30^\circ$)

Fig. 1. Distribution of vertical velocity component of slow movements of above fault local salt structures of the I-group: а — case of
 horizontal structure basement with velocity of 1 cm over year at the angle of 90° to horizon, б — at the angle of 45°, в — at
 the angle of 30°; г — at replacement of the top salt km-layer by sand rocks ($\beta=30^\circ$)

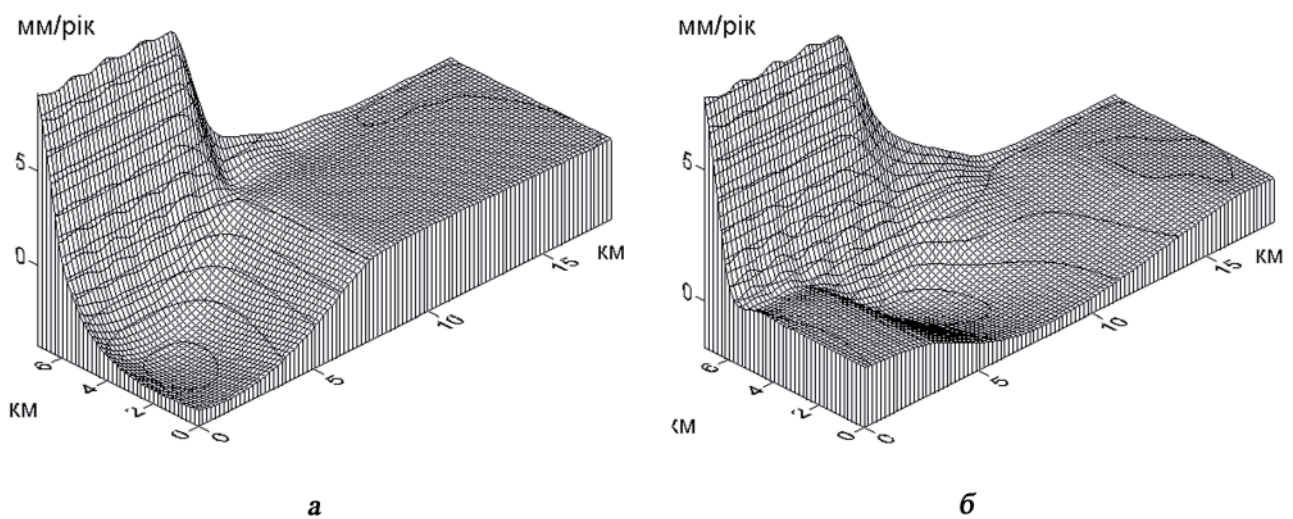
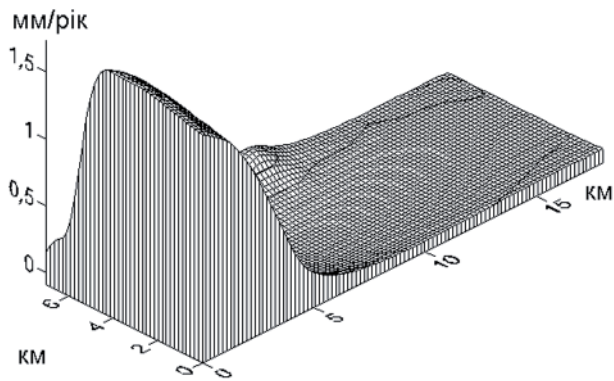
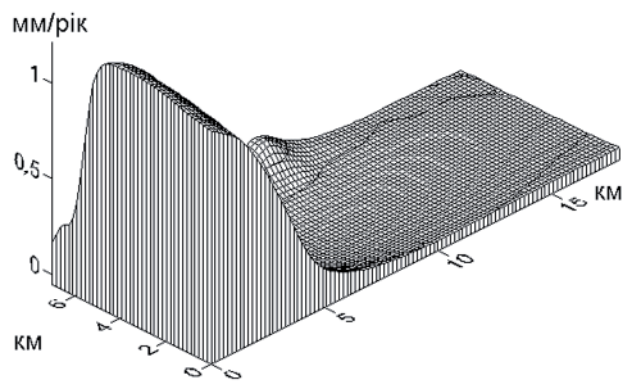


Рис. 2. Розподіл вертикальної складової швидкості повільних рухів штампових локальних соляних структур I групи: а — під-
 німання горизонтальної ділянки підшови структури зі швидкістю 1 см/рік під кутом 90° до горизонту; б — те саме під кутом 60°

Fig. 2. Distribution of vertical velocity component of slow movements of stamp local salt structures of the I group: а — case of hori-
 zontal structure basement rising with velocity of 1 cm over year at the angle of 90° to horizon; б — at the angle of 60°



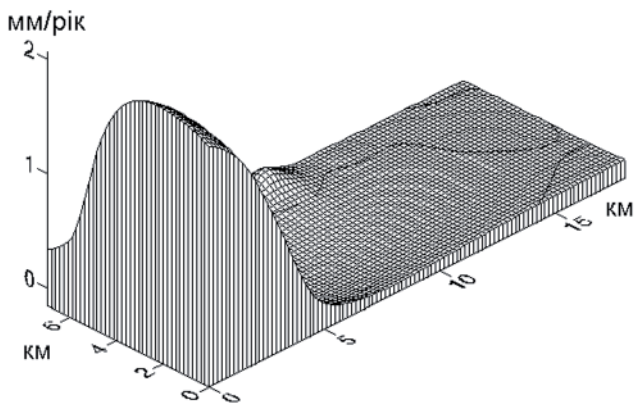
a



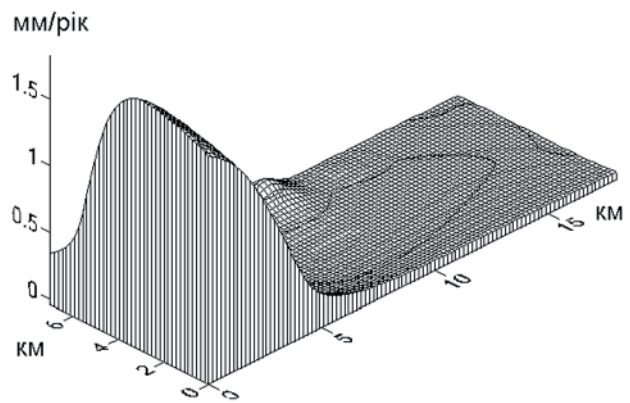
б

Рис. 3. Розподіл вертикальної складової швидкості повільних рухів локальних соляних структур короблення I групи: *a* — горизонтальне стиснення горизонтальної ділянки підшови структури зі швидкістю 1 см/рік; *б* — при заміщенні 1 км верхнього соляного шару пісковиками

Fig. 3. Distribution of vertical velocity component of slow movements of contraction local salt structures of the I group: *a* — case of the horizontal structure basement compressing by velocity of 1 cm over year; *б* — at replacement of the top salt km-layer by sand rocks



a



б

Рис. 4. Розподіл вертикальної складової швидкості повільних рухів локальних соляних структур II групи, занурення горизонтальної ділянки підшови структури зі швидкістю 1 см/рік під кутом 45° до горизонту: *a* — товстий соляний шток (радіус верхньої частини штоку — 6 км, радіус соляного ядра штоку — 12 км); *б* — тонкий соляний шток (радіус верхньої частини штоку — 3 км, радіус соляного ядра штоку — 9 км)

Fig. 4. Distribution of vertical velocity component of slow movements of local salt structures of the II group at the case of horizontal structure basement sinking with velocity of 1 cm over year at the angle of 45° to horizon: *a* — case of the thick salt stock (radius of the top stock part — 6 km, radius of the salt stock core — 12 km); *б* — case of the thin salt stock (radius of the top stock part — 3 km, radius of the salt stock core — 9 km)

хів тісно корелює з напрямком розломно-блокових рухів і потужністю соляних подушок. Положиті розломно-блокові рухи потужніших соляних товщ приводять до інтенсивнішого соляного тектогенезу. Активний соляний тектогенез, у свою чергу, зумовлює формування багатьох локальних порушень і тріщин у соляних товщах, по яких разом з водою просочуються та накопичуються вуглеводні. Можна припустити, що інтенсивність процесів формування вуглеводневих пасток у соляних структурах ДДЗ тісно пов'язана з активізацією розломно-блокових рухів і наявністю достатньої потужності соляних товщ у регіоні. Разом з тим зона тектонічних порушень усередині соляних товщ, тобто ймовірна зона формування вуглеводневих пасток, визначається

розмірами підшови активного блока кристалічного фундаменту: чим більша площа цього блока, тим більша площа інтенсивного соляного тектогенезу, тобто ділянка формування вуглеводневих пасток.

Аналіз повільних рухів соляних структур I групи показав, що вуглеводневі пастки утворюються і в структурах короблення (див. рис. 3). Дійсно, в цьому випадку активні ділянки соляних товщ зіставні з відповідними ділянками надрозломних структур.

Найменш інтенсивні повільні рухи всередині соляних товщ характерні для штампових структур (див. рис. 2). Вертикальне підняття активного блока всередині цих структур спричинює просідання соляної подушки відносно цього блока. При цьому значних порушень у соляних товщах не від-

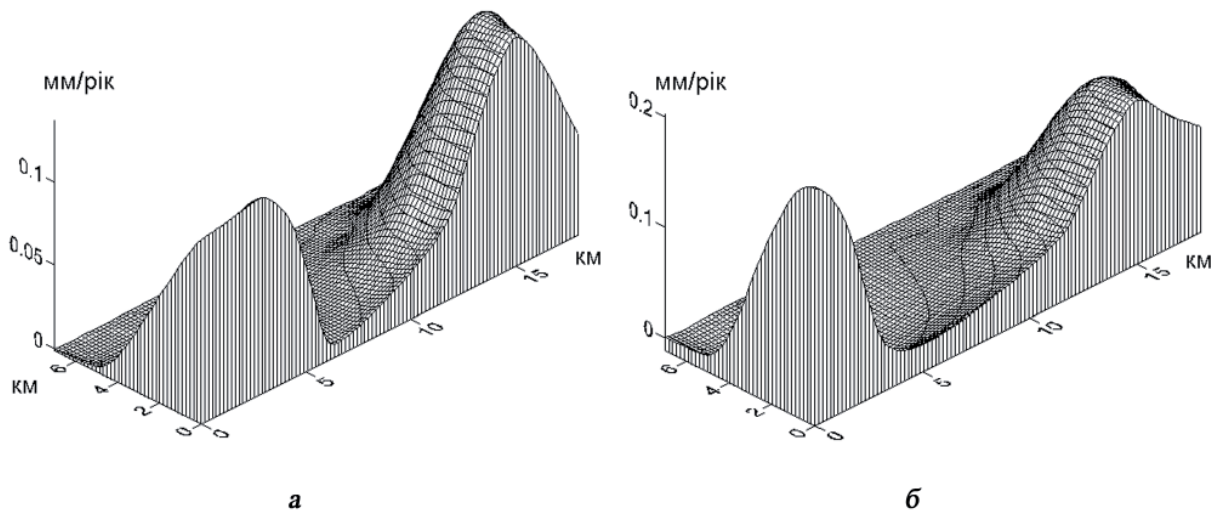


Рис. 5. Розподіл вертикальної складової швидкості повільних рухів локальних соляних структур III групи, горизонтальне стиснення штокової соляної структури зі швидкістю 1 мм/рік: а — товстий соляний шток; б — тонкий соляний шток

Fig. 5. Distribution of vertical velocity component of slow movements of local salt structures of the III group at the case of horizontal structure compressing with velocity of 1 mm over year: a — case of the thick salt stock; б — case of the thin salt stock

бувається, отже, відносно повільним є і формування вуглеводневих пасток.

У разі повільних рухів локальних соляних структур II групи (див. рис. 4) швидкість усередині соляних товщ залежно від положистості розломно-блокових рухів і потужності соляних штоків може бути значною. Таким чином, тектонічні порушення усередині соляних товщ і, відповідно, активне формування вуглеводневих пасток можуть бути доволі інтенсивними. Однак розміри соляних ядер штокових структур значно менші за розміри соляних подушок структур I групи і тому ймовірність знайти тут вуглеводневі поклади промислового масштабу значно нижча.

У разі повільних горизонтальних регіональних рухів локальних соляних структур III групи (рис. 5) вертикальні повільні рухи всередині соляних штоків дуже незначні, отже, і тектонічні порушення тут невеликі, тому ймовірність активного формування вуглеводневих пасток всередині цих структур достатньо низька.

Висновки. Згідно із загальним аналізом результатів комп'ютерного моделювання динамічної поведінки локальних соляних структур ДДЗ, інтенсивність повільних тектонічних рухів усередині соляних утворень цих структур і відповідний процес формування вуглеводневих пасток тісно корелюють з напрямком розломно-блокових рухів і потужністю соляних товщ. Положисті розломно-блокові рухи потужніших соляних товщ спричиняють інтенсивніший соляний тектогенез. Активний соляний тектогенез, у свою чергу, приводить до формування багатьох локальних порушень і тріщин у соляних утвореннях структур. Разом з тим зона тектоніч-

них порушень усередині соляних товщ визначається розмірами підшви активного блока кристалічного фундаменту. Найактивніший процес формування вуглеводневих пасток відбувається всередині надрозломних соляних структур, а далі — у структурах короблення. Найменш інтенсивні повільні рухи всередині соляних утворень характерні для штампових структур. Найімовірніше промислові поклади вуглеводнів формуються саме у локальних соляних структурах I групи, особливо у надрозломних структурах і структурах короблення. При цьому природозломні соляні структури також можна вважати достатньо перспективними щодо промислової розвідки.

У локальних соляних структурах II групи інтенсивність тектонічних порушень всередині соляних штоків залежно від положистості розломно-блокових рухів і потужності соляних товщ також може бути значною. Однак розміри соляних ядер штокових структур значно менші за розміри соляних подушок локальних структур I групи, тому ймовірність знайти тут вуглеводневі поклади промислового масштабу значно нижча. В разі тектонічних горизонтальних регіональних рухів локальних соляних структур III групи вертикальні тектонічні рухи всередині соляних штоків дуже незначні, ймовірність формування вуглеводневих пасток достатньо низька.

Результати цього дослідження можуть бути використані для розвідки вуглеводневих покладів у межах ДДЗ. У подальшому запропонований метод може бути застосований для розробки практично значущої методики виявлення вуглеводневих пасток у місцях геотектонічної активізації соленосних осадових басейнів.

Список бібліографічних посилань

1. Айзенберг Д.Е., Берченко О.И., Бражникова Н.Е. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия. Киев: Наук. думка, 1988. 147 с.
2. Воробьев Б.С. Схематизированная классификация локальных поднятий по форме и соотношению структурных планов. Вопросы развития газовой промышленности УССР. Москва: Недра, 1966. С. 23—27.
3. Гавриш В.К., Забелло Г.Д., Рябчун Л.М. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие. Киев: Наук. думка, 1989. 208 с.
4. Григорьев А.С., Волович И.М., Михайлова А.В. и др. Вопросы интерпретации современных движений земной поверхности, обусловленных движениями фундамента осадочного чехла. Современные движения земной коры. Морфоструктуры, разломы, сейсмичность. Москва: Наука, 1987. С. 9—16.
5. Кабышев Б.П. Генетическая классификация локальных положительных структур ДДВ. Материалы по геологии нефтегазоносности Украины. Москва: Недра, 1971. С. 103—120.
6. Китык В.И. Типы соляных структур ДДВ. *Нефть и газ*. 1959. № 3. С. 25—31.
7. Косыгин Ю.А., Бланк М.И. Типы соляных структур ДДВ. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. геол.* 1958. Т. 33, № 6. С. 3—23.
8. Кукал З. Скорость геологических процессов. Москва: Мир, 1987. 245 с.
9. Лубков М.В. Моделювання сучасних рухів локальних соляних структур Дніпровсько-Донецької западини. *Геоінформатика*. 2011. № 3. С. 54—60.
10. Лубков М.В. Застосування в'язкопружної моделі Кельвіна—Фойгта для моделювання геотектонічних процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер. ф.-м. н.* 2017. № 3. С. 127—130.
11. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. Москва: Высшая школа, 1985. 329 с.
12. Смелянский В.М. Генетические типы локальных поднятий северо-западной части ДДВ. *Нефтегазовая геология и геофизика*. 1964. № 6. С. 13—21.
13. Чирвинская М.В. Основные принципы классификации локальных поднятий ДДВ (авлакогена). Геология и геохимия нефтяных и газовых месторождений. Киев: Наук. думка, 1965. С. 18—39.
14. Turcotte D., Schubert G. Geodynamics. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 848 p.

Надійшла до редакції 02.04.2019 р.

ОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЛОВУШЕК В ЛОКАЛЬНЫХ СОЛЯНЫХ СТРУКТУРАХ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

М.В. Лубков, О.О. Захарчук

Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава 36015, Украина, e-mail: mikhail.lubkov@ukr.net

С целью исследования механизмов формирования углеводородных ловушек в локальных структурах Днепровско-Донецкой впадины на основе вариационного конечно-элементного метода проведено численное моделирование медленных тектонических движений внутри соляных толщ указанных структур. Показано, что наиболее активный процесс формирования углеводородных ловушек происходит внутри надразломных соляных структур. При этом более пологие тектонические движения внутри более мощных соляных толщ приводят к более интенсивному процессу формирования ловушек. Активное формирование ловушек характерно и для структур коробления. Процессы формирования углеводородных ловушек этой группы наименее интенсивны в штамповых структурах. В случае локальных соляных структур II группы формирование углеводородных ловушек может происходить достаточно интенсивно, но вероятность обнаружить здесь углеводородные залежи промышленного масштаба значительно ниже, чем в соляных структурах I группы. В случае соляных структур III группы вероятность активного формирования углеводородных ловушек в них достаточно низкая.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, локальные соляные структуры Днепровско-Донецкой впадины, формирование углеводородных ловушек.

FORMING OF HYDROCARBON TRAPS IN THE LOCAL SALT STRUCTURES OF THE DNIIEPR-DONETSK DEPRESSION

M.V. Lubkov, O.O. Zacharchuk

Poltava Gravimetric Observatory of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of Ukraine National Academy of Science, 27/29 Mysoedova Str., Poltava 36015, Ukraine, e-mail: mikhail.lubkov@ukr.net

Purpose. Nowadays we know that local salt structures of the Dniepr-Donetsk Depression (DDD) characterize by a diverse structure, lithology and formation history. On the other hand, all this variety of structural forms is result of only a few main structural factors of their genesis: the vertical movements of the blocks of the crystalline basement, regional tangential movements and stresses and movements associated with the salt tectonics. As a morphology, age and genesis of the local salt DDD structures closely connected with the formation of hydrocarbon traps and as a result — oil and gas concentration places. So actually to carry out computer modeling of slow tectonic movements into the salt masses of different types of those structures with the purpose of hydrocarbon traps forming mechanism understanding.

Design/methodology/approach. On the base of variation finite-element method for the Kelvin-Voight visco-elastic problem resolving, we carried out computer modeling of slow tectonic movements into the salt masses of different types of the local salt DDD structures with the purpose of hydrocarbon traps forming processes investigation.

Findings. The results of computer modeling show the most active process of the hydrocarbon traps formation occurs inside the above fault salt local DDD structures, at that time more sloping tectonic movements within more powerful salt masses lead to more intensive formation of the traps. The next on activity of the traps formation are contraction salt local DDD structures. The least intensive hydrocarbon traps formation processes of the I-group appropriate to the stump salt local DDD structures. Therefore, most likely, to discover industrial hydrocarbons deposits into the local salt DDD structures of the I group, especially in the above fault and contraction structures. In the case of local salt DDD structures of the II group, the hydrocarbon traps formation can be quite intensive, but probability of finding here hydrocarbon deposits of an industrial scale is much lower than in salt structures of the I group. In the case of salt structures of group III, the probability of the active hydrocarbon traps formation processes within these structures is quite low.

Practical value/implications. One can use obtained results for practical geophysical and geological works with a purpose of effective exploration of oil and gas deposits in the active salt basins. In further, actually to use presented method for more detailed oil-gas deposits investigation in the DDD region.

Keywords: computer modeling, local salt DDD structures, hydrocarbon traps formation.

References

1. Ajzenverg D.E., Berchenko O.I., Brazhnikova N.E. Geologija i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donckoj vpadiny. Strati-grafija. Kiev: Naukova dumka, 1988. 147 p. [in Russian].
2. Vorob'ev B.S. Shematizirovannaja klassifikacija lokal'nyh podnjatij po forme i sootnosheniju strukturnyh planov. Voprosy razvitija gazovoj promyshlennosti USSR. Moscow: Nedra, 1966. P. 23—27 [in Russian].
3. Gavrish V.K., Zabello G.D., Rjabchun L.M. Geologija i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donckoj vpadiny. Glubinnoe stroenie i geotektonicheskoe razvitie. Kiev: Naukova dumka, 1989. 208 p. [in Russian].
4. Grigor'ev A.S., Volovich I.M., Mihajlova A.V., Rebeckij Ju.L., Shahmuradova Z.E. Voprosy interpretacii sovremennyh dvizhenij zemnoj poverhnosti, obuslovlennyh dvizhenijami fundamenta osadochnogo chehla. Sovremennye dvizhenija zemnoj kory. Morfostruktury, razlomy, sejsmichnost'. Moscow: Nauka, 1987. P. 9—16 [in Russian].
5. Kabyshev B.P. Geneticheskaja klassifikacija lokal'nyh polozhitel'nyh struktur DDV. Materialy po geologii neftegazonosnosti Ukrainy. Moscow: Nedra, 1971. P. 103—120 [in Russian].
6. Kityk V.I. Types of DDD salt structures. *Neft' i gaz*. 1959. N 3. P. 25—31 [in Russian].
7. Kosygin Ju.A., Blank M.I. Types of DDD salt structures. *Bjuleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otd. geol.* 1958. Vol. 33, N 6. P. 3—23 [in Russian].
8. Kukul Z. Skorost' geologicheskikh processov. Moscow: Mir, 1987. 245 p. [in Russian].
9. Lubkov M.V. Modeling of the modern movements of the local salt structures of Dniepr-Donetsk Depression. *Geoinformatyka*. 2011. N 3. P. 54—60 [in Ukrainian].
10. Lubkov M.V. Using of visco-elastic Kelvin-Voigt model for geotectonic processes modeling. *Visnyk KNU. Ser. ph.-m. snc.* 2017. N 3. P. 127—130 [in Ukrainian].
11. Obrazcov I.F., Savel'ev L.M., Hazanov H.S. Metod konechnyh jelementov v zadachah stroitel'noj mehaniki letatel'nyh apparatov. Moscow: Vysshaja shkola, 1985, 329 p. [in Russian].
12. Smeljanskij V.M. Genetic types of local risings of the north-western part of DDD. *Neftegazova geologija i geofizika*. 1964. N 6. P. 13—21 [in Russian].
13. Chirvinskaja M.V. Osnovnye principy klassifikacii lokal'nyh podnjatij DDV (avlakogena). Geologija i geohimija neftianuh i gazovuh mestorozhdeniy. Kiev: Naukova Dumka, 1965. P. 18—39 [in Russian].
14. Turcotte D., Schubert G. Geodynamics. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, 848 p.

Received 02/04/2019