

<https://doi.org/10.15407/gpimo2023.01.054>

М.В. Козленко, канд. геол. наук, ст. наук. співр.

e-mail: marichakoko@gmail.com

ORCID 0000-0001-5463-6483

Ю.В. Козленко, канд. геол.-мін. наук, ст. наук. співр.

e-mail: yuriyko.geo@gmail.com

ORCID 0000-0002-7736-5185

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

03680, м. Київ, пр. Палладіна, 32

ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗОНИ БІОСТРОМНА (ПІВНІЧНО-ЗАХІДНИЙ ШЕЛЬФ ЧОРНОГО МОРЯ) НА ПОШУКИ ВУГЛЕВОДНІВ ЗА ДАНИМИ ГУСТИННОГО МОДЕЛЮВАННЯ

З метою визначення перспективності на пошуки вуглеводнів (ВВ-перспективність) зони Біостромна, яка розташована на північно-західному шельфі Чорного моря, було проведено системне двовимірне густинне (гравітаційне) моделювання вздовж 8 субмеридіональних профілів. Особлива увага приділялася визначенню положення глибинних розломів, які могли бути джерелом струменів метану та інших вуглеводнів, що проникали до земної поверхні. Для обчислення коливання величини гравітаційного ефекту, яке пов'язане зі зміною густини осадових відкладів, були прораховані моделі з мінімальними та максимальними значеннями цього параметру для кожного шару окремо та для всього осадового чохла зони Біостромна. Визначено, що варіації густин осадового чохла призводять до коливання значень модельних аномалій до ± 2 мГал. Проведене густинне моделювання показало в межах зони Біостромна широке різноманіття будови фундаменту з чергуванням підведених та занурених ділянок кристалічної кори з суттєвою зміною структури району досліджень в довготному напрямку. Зроблено оцінку ВВ-перспективності локальних структур зони Біостромна за чотирма критеріями: 1) за відстанню між подошвою осадового чохла та покрівлею гранодіоритового шару, оскільки чим менше значення цього параметру, тим менше розсіювання мантійного матеріалу та більше його надходження до потенційних насток вуглеводнів; 2) за забезпеченістю локальних структур глибинними розломами як каналами надходження мантійних флюїдів; 3) за віком утворення фундаменту, що визначає проміжок часу від тектонічної активності до формування осадового шару; 4) за рівнем різницевої гравітаційної аномалії, яка фіксує розуцільнення окремих ділянок осадового чохла як фактора підвищення колекторських властивостей. За результатами досліджень побудована схема ВВ-перспективності зони Біостромна. Запропоновано багатокomпонентний аналіз результатів гравіметричних досліджень, який значно підвищує надійність виділення з безлічі відстежених сейсморозвідкою об'єктів першочергових на пошуки вуглеводнів.

Ключові слова: північно-західний шельф Чорного моря, зона Біостромна, густинне моделювання, перспективність на пошуки вуглеводнів, глибинні розломи.

Цитування: Козленко М.В., Козленко Ю.В. Перспективність зони Біостромна (північно-західний шельф Чорного моря) на пошуки вуглеводнів за даними густинного моделювання. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2023. 19, № 1: 54–68. <https://doi.org/10.15407/gpimo2023.01.054>

Вступ

Актуальною задачею геології України сьогодення є виявлення структур, перспективних на пошуки вуглеводневої сировини (ВВ-перспективність). Одним із районів, які привертають увагу через можливість видобутку цих корисних копалин, є північно-західний шельф Чорного моря. У межах цього регіону на теперішній час, крім виявлених тут 8 газових та газоконденсатних родовищ, геолого-геофізичними дослідженнями виділено 220 прогнозних об'єктів в осадовому чохла та гетерогенно-гетерохронному фундаменті [2, рис. 4.19]. Більшість з них групуються в певні зони. Робота, що надається, присвячена вивченню однієї з таких зон — Біостромної, в межах якої було виявлено 19 локальних структур (рис. 1). Критеріїв дистанційного визначення ВВ-перспективності досить багато. Авторами пропонується варіант вирішення цієї проблеми за допомогою інтерпретації гравіметричних даних.

У рамках досліджень було проведено системне двовимірне густинне (гравітаційне) моделювання вздовж 8 майже паралельних профілів, які перетинають вказану зону в субмеридіональному напрямку. Відстані між профілями в середньому складають 11 км, але оскільки моделі побудовано вздовж отриманих раніше сейсмічних розрізів¹, інтервали між моделями не постійні і коливаються від 9,3 до 12,4 км. Крок розрахунків по кожному з профілів склав 1 км.

Відомо, що на формування покладів нафти та газу впливає не тільки седиментогенез, але й процеси в консолідованій корі та верхній мантії [6]. Тому для оцінки ВВ-перспективності є важливим виявлення положення глибинних порушень, оскільки тріщинами природного флюїдорозриву дерівати у вигляді струменів метану та інших вуглеводнів проникають до земної поверхні [8]. Те, що родовища даного регіону тяжіють до скрізькорових розломів, було показано на прикладі Каркінитського прогину, який лежить трохи південніше зони Біостромна [3].

Для визначення положення глибинних розломів параметри осадового комплексу задавалися незмінними згідно з сейсмічними даними¹, і підбір аномалій спостереженого поля сили тяжіння у моделях проводився виключно змінами гіпсометрії поверхонь шарів консолідованої частини кори.

Але на північно-західному шельфі Чорного моря літологічний склад відкладів кожного віку змінюється як по площі, так і по глибині і, відповідно, кожна з осадових товщ має деякий розкид величин густини (ρ). Тому першим кроком у вирішенні поставленої задачі є визначення вкладу зміни осадового чохла в аномалію сили тяжіння і тим самим встановлення граничного рівня підбору гравітаційного поля моделей — різницевої аномалії Δg_p (різниці між спостереженою Δg_c та модельною Δg_m аномалією).

Визначення вкладу зміни густини осадового чохла в аномалію поля сили тяжіння. Для обчислення коливання величини гравітаційного ефекту, яке пов'язане зі зміною густини осадових відкладів, авторами були прораховані Δg_m з мінімальними та максимальними значеннями для кожного шару окремо та для всього осадового чохла зони Біостромна. У табл. 1 вказано осереднені для всіх профілів величини девіації σ (відхилення від середніх значень) Δg_m , обчисле-

¹ Безверхов Б.Д., Левин К.Г. Отчет «Региональные работы МОВ ОГТ в пределах северо-западного шельфа Черного моря». Одесса, фонды треста «Южморнефтегазгеофизразведка», 1986, 102 с.

них для ρ_{\max} і ρ_{\min} . Цей параметр залежить від ундуляцій густини, потужності та глибини залягання кожного шару. Причому, згідно з законом всесвітнього тяжіння, гравітаційний ефект є прямо пропорційним до величини гравітуючих мас (добуток густини на об'єм або, у випадку двовимірного моделювання, — на потужність шару) і обернено пропорційним квадрату відстані до них (тобто глибині залягання). Тому для нижньокрейдового горизонту, що глибоко залягає, величина девіації найменша, незважаючи на найбільший розкид значень ρ , а відхилення для неоген-четвертичних і майкопських товщ рівні, хоча максимальні і мінімальні густини першої різняться на 0,20, а другої тільки на 0,15 г/см³ (див. табл. 1). При складанні ефектів всього осадового чохла в залежності від коливань густин кожного з шарів розбіжність досягає 2,04 мГал.

Середня квадратична помилка вимірювань аномалій спостереженого поля сили тяжіння у вільному повітрі на північно-західному шельфі Чорного моря становить $\pm 0,18$ мГал, що дозволяє будувати карти Δg_c детальністю 0,5 мГал [4]. Тому, на перший погляд, при моделюванні треба прагнути до саме такого значення різницевої аномалії. Але оскільки варіації густин осадового чохла допускають коливання значень модельних аномалій до ± 2 мГал, підбирати параметри консолідованої кори з величиною Δg_p менше цього значення некоректно без точних відомостей про фізичні властивості порід по кожному профілю.

Виходячи з цього, ітераційний (багатокроковий з послідовним наближенням до результату) процес підбору густинних параметрів моделей припинявся після досягнення для всієї або переважаючої частини моделі визначеного в результаті проведеного дослідження граничного значення різницевої аномалії.

Структура земної кори району зони Біостромна за результатами густинного моделювання. На рис. 2 наведено густинні моделі зони Біостромна та прилеглих до неї структур Геохімічна (5) і Тендрівська-2 (21) за 8 профілями, положення яких показано на рис. 1.

Аналіз будови земної кори проведено за особливостями її кристалічної частини, оскільки впокрівля верхнього шару консолідованого фундаменту, складеного осадово-метаморфічними породами, згладжена денудацією і не несе структурно-тектонічної інформації. Тому терміни «підняття», «занурення», «прогин», «горст», «грабен», які зазвичай застосовуються для поверхневих утворень, в подальшому стосуються поверхонь шарів гранодіоритів і габро.

Моделювання показало в межах зони Біостромна широке різноманіття будови фундаменту з чергуванням підведених та занурених ділянок кристалічної частини кори з суттєвою зміною структури району досліджень у довготному напрямку.

Таблиця 1. Параметри осадових шарів за сейсмічними даними та величини девіації гравітаційних ефектів

Шар	Густина, г/см ³	Глибина залягання кровлі, км	Товщина шару, км	Девіація Δg , \pm мГал
Q—N ₂	2,10—2,30	0,00—0,05	0,15—0,60	2,19
N ₁ —P ₃ (mk)	2,15—2,30	0,15—0,65	0,22—1,18	2,19
P ₁₋₂	2,39—2,55	0,37—1,74	0,33—1,35	2,48
K ₂	2,40—2,60	0,70—3,01	0,13—1,57	2,92
K ₁	2,44—2,66	0,83—4,46	0,33—2,82	1,65
Q—K ₁				2,04

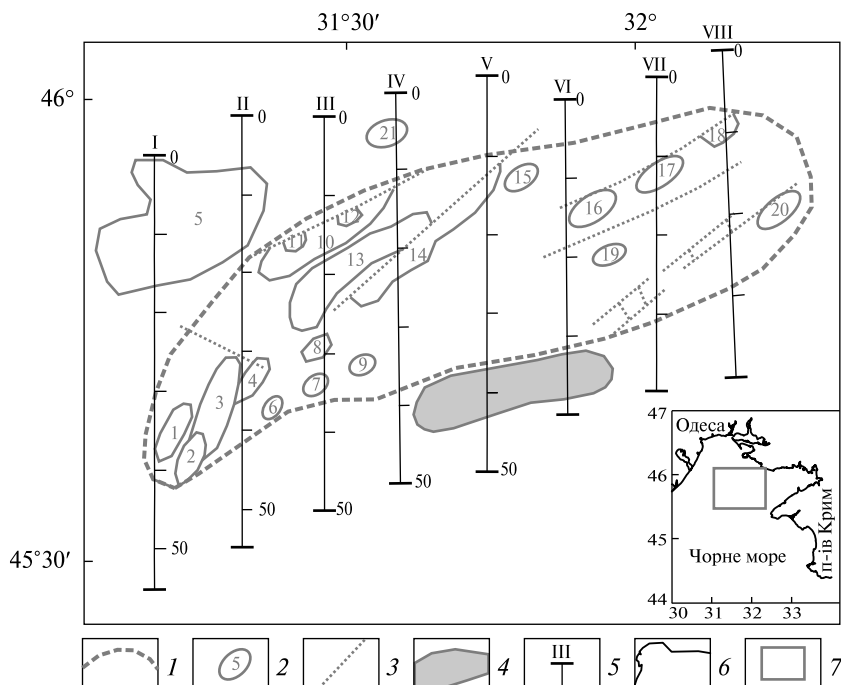
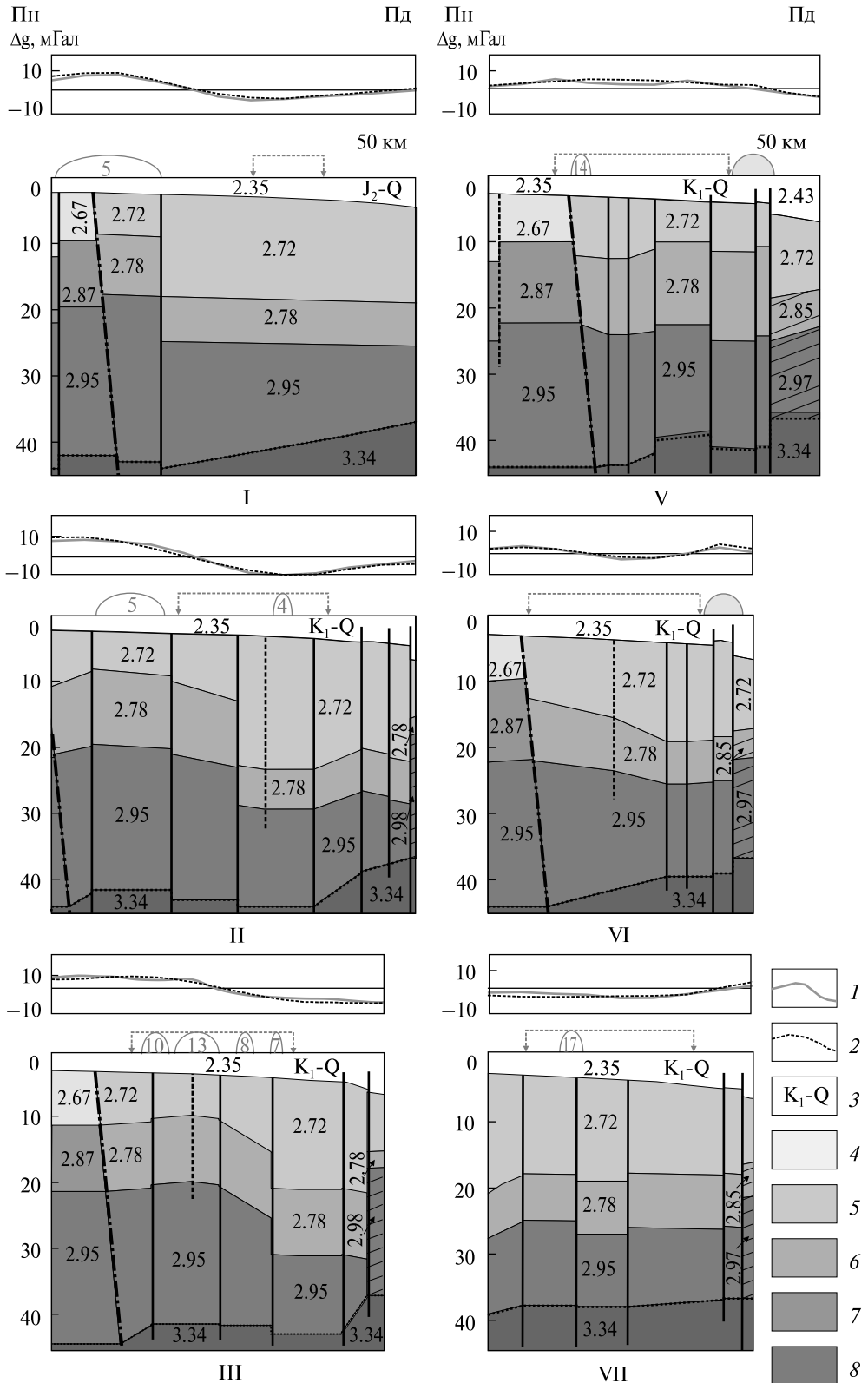


Рис. 1. Схема локальних структур району зони Біостромна за [3] з розташуванням модельних профілів I—VIII: 1 — границя зони Біостромна; 2 — локальні структури (1 — Г-20, 2 — Моноклінальна АТП, 3 — Біогермна, 4 — Лиса, 5 — Геохімічна, 6 — Г-23, 7 — Олександрівська-1, 8 — Неантиклінальна пастка-АТП, 9 — Олександрівська-2, 10 — Ігорівська, 11 — Ярославська-I, 12 — Ярославська-II, 13 — Риф (Біостромна), 14 — Іванівська зона структур, 15 — Глинська, 16 — Маріїнська-I, 17 — Маріїнська-II, 18 — Маріїнська-III, 19 — Г-34, 20 — Полуботківська, 21 — Тендрівська-2); 3 — розломи; 4 — Голіцинське родовище вуглеводнів; 5 — модельні профілі; на врізці: 6 — берегова лінія, 7 — район досліджень

У перетині першого профілю, який проходить по західному краю Біостромної, покривлі всіх трьох шарів консолідованої кори являють собою монокліналь, незначно нахилену на південь. Відсутність ундуляцій поверхонь шарів та брак розломів вказує на тектонічну інертність цієї ділянки, можливо саме тому в цій частині зони не виявлено локальних об'єктів. Цей профіль перетинає також структуру Геохімічна (5), яка має значно складнішу будову фундаменту, представленого двома горстами по обидва боки від границі між Східноєвропейською платформою (СЄП) та Скіфською плитою (СП). На моделі II кристалічна кора являє собою сполучення підняття в південній частині та занурення в північній. На цьому профілі до зони, що досліджується, відноситься південний схил підняття та найбільш занурена частина прогину, над якою виявлено одну локальну структуру — Лису (4). Центральна частина підняття знаходиться в межах структури Геохімічна (5). На моделі III зона Біостромна майже повністю підстелюється підняттям, а також краєчком занурення. В межах першого зафіксовано структури Ігорівська (10), Риф (Біостромна) (13), Неантиклінальна пастка-АТП (8). Структура Олександрівська-1 (7) лежить на межі підвищеного та зануреного блоків. На моделях IV, V і VII відзначається клявішна структура фундаменту з чергуванням горстів та грабенів з практично горизонтальним заляганням поверхні гранодіоритів. Четвертий профіль в межах Біостромної пересікає структу-



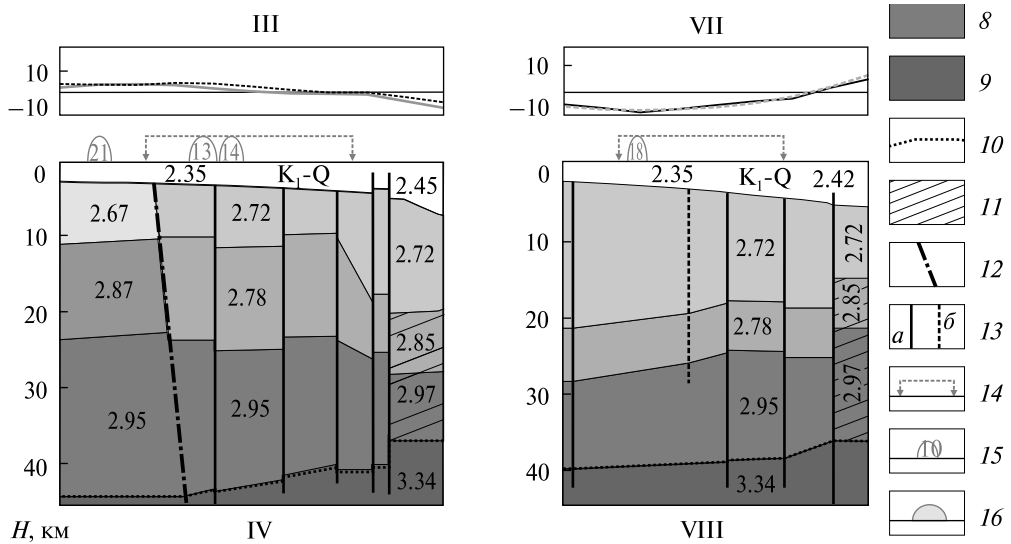


Рис. 2. Густинні моделі (г/см³) за профілями I—VIII з відповідними гравітаційними аномаліями: 1 — спостережена гравітаційна аномалія; 2 — модельна аномалія; 3 — осадовий чохол відповідного віку; 4 — граніти; 5 — осадово-метаморфічна товща; 6 — гранодіорити; 7 — діорити; 8 — габро; 9 — верхня мантія; 10 — підшва кори; 11 — блок редукованої кори в основі Каркінитського прогину; 12 — границя між Східноєвропейською платформою та Скіфською плитою; 13 — розломи: а — мантійного закладання, б — внутрішньокорові; 14 — межі зони Біостромна; 15 — межі локальних структур (назви див. рис. 1); 16 — межі Голіцинського родовища вуглеводнів

ру Риф (13) над горстом та Іванівську зону структур (14) над грабенем. Крім того, в примезовому блоці СЄП, який являє собою монокліналь північного падіння, в перетині профілю визначено структуру Тендрівська-2 (21). Іванівська зона (14) простежується і на п'ятому профілі з іншого боку границі СЄП/СП. На сьомому профілі відмічається також одна структура — Маріїнська-II (17), яка лежить на межі північного горста та центрального грабена. На шостій і восьмій моделях в межах Біостромної відмічається моноклінальне залягання гранодіоритового шару, але для профіля VI він має південне падіння, а для профіля VIII — північне. При цьому шостий профіль не перетинає жодної структури, а на восьмому зафіксована лише одна — Маріїнська-III (18), в північній частині розрізу. Варто відмітити, що профілі V і VI проходять через Голіцинське родовище вуглеводнів, розташоване поруч зони Біостромної, трохи південніше за неї.

Оцінка ВВ-перспективності локальних об'єктів за структурним, тектонічним та геохронологічним критеріями. Як було відмічено в роботі [9], більшість геологічних об'єктів виникає та розвивається в далеких від рівноваги відкритих системах в результаті геосінергетичних процесів. Найбільш виразно це проявляється при взаємодії висхідних потоків глибинних флюїдів з породами земної кори. При цьому її інтенсивність досягає максимуму на верхній кромці кристалічного фундаменту [7]. Зрозуміло, що чим ближче ця поверхня до осадового чохла, тим менше розсіювання мантійного матеріалу та більше його надходження до потенційних пасток вуглеводнів.

На цій підставі можна охарактеризувати локальні структури в перетині профілів (див. рис. 2) на ВВ-перспективність за відстанню між покрівлею гра-

нодіоритового шару та підшовою осадового чохла (табл. 2). На структурах, розташованих поза моделями, ця величина визначалася інтерполяцією між профілями. Виходячи з цього параметру, більш перспективними на пошуки вуглеводнів є структури Геохімічна (5), Ігорівська (10), Неантиклінальна пастка-АТП (8), Риф (13), Тендрівська-2 (21) та Іванівська зона структур (14).

Таблиця 2. ВВ-перспективність локальних структур за відстанню між кровлею гранодіоритового шару та підшовою осадового чохла

Характеристика	Перспективні структури		
Відстань між кровлею гранодіоритового шару та підшовою осадового чохла (км)	15—20	10—15	До 10
Ступінь перспективності (бал)	1	2	3
Структура	Біогермна Г-20 Г-23 Лиса Маріїнська-II (захід) Маріїнська-III Моноклінальна АТП Полуботківська	Г-34 Маріїнська-I Маріїнська-II (схід) Олександрівська-1 (південь)	Геохімічна Глинська Іванівська зона Ігорівська Неантиклінальна пастка-АТП Олександрівська-1 (північ) Олександрівська-2 Риф Тендрівська-2 Ярославська-I Ярославська-II

Таблиця 3. Тектонічна епоха утворення фундаменту, що підстелює локальні структури

Характеристика	Перспективні структури			
Тектонічна епоха	Ранньо-карельська	Байкальська	Герцинська	Кіммерійська
Ступінь ВВ-перспективності (бал)	0	1	2	3
Структура	Геохімічна (північ) Тендрівська-2	Г-20 (захід) Г-34 Геохімічна (захід, центр та південь) Глинська (схід) Маріїнська-I Моноклінальна АТП (захід)	Геохімічна (схід) Глинська (захід) Іванівська зона Ігорівська Маріїнська-II Неантиклінальна пастка-АТП Олександрівська-1 (схід) Олександрівська-2 Риф Ярославська-I Ярославська-II	Біогермна Г-20 (схід) Г-23 Лиса Маріїнська-III Моноклінальна АТП (схід) Олександрівська-1 (захід) Полуботківська

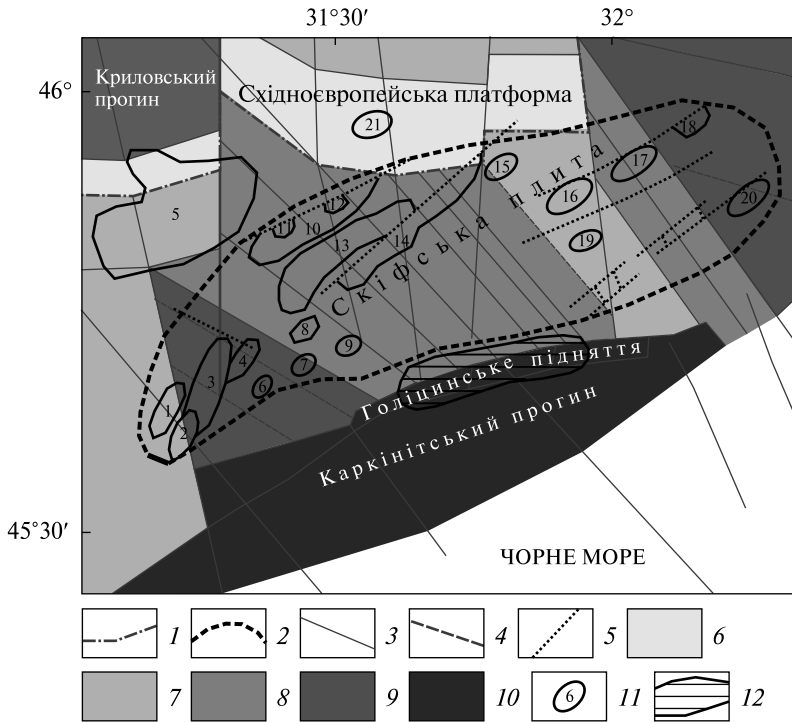


Рис. 3. Тектоно-хронологічна схема району досліджень з нанесенням положення локальних структур району зони Біостромна (назви структур див. рис. 1) за [3]: 1 — границя між Східноєвропейською платформою та Скіфською плитою; 2 — границя зони Біостромна; 3 — розломи мантіїного закладання; 4 — внутрішньокорові розломи; 5 — розломи за [3]; 6–10 — вік утворення або останньої активізації кори (6 — архей-ранньопротерозойський, 7 — байкальський, 8 — герцинський, 9 — кіммерійський, 10 — альпійський); 11 — локальні структури (назви див. рис. 1); 12 — Голіцинське родовище вуглеводнів

Ще одним показником є вік утворення блоків фундаменту, який підстелює локальні структури (табл. 3). Звісно, чим молодша кора, тим вона тектонічно активніше і тим більше флюїдів піднімається до поверхні. Таким чином, чим більший проміжок часу розділяє епоху активізації кори від формування осадового шару, тим менше імовірність надходження матеріалу до вірогідної пастки. Як приклад можна привести структуру Тендрівська-2 (21). Кристалічна кора цієї ділянки була сформована в ранньокарельську епоху тектогенезу, яка закінчилася 1900 млн р. тому. Отже, надходження флюїдів до найнижчого осадового шару крейдового віку, який почав формуватися не раніше 144 млн р. тому, є малоімовірним. Виходячи з вказаного параметру, більш перспективними на пошуки вуглеводнів є структури Біогермна (3), Г-20 (1) та Г-23 (6), Лиса (4), Маріїнська-III (18), Моноклінальна АТП (2), Олександрівська-1 (7), Полуботківська (20).

Крім того, на всіх моделях можна побачити, що фундамент району досліджень розчленовано глибинними розломами, як мантіїного закладання, так і внутрішньокоровими. Зрозуміло, що перші з точки зору постачання флюїдів більш продуктивні. На рис. 3 подано тектоно-геохронологічну схему ділянки границі СЄП та СП в районі зони Біостромна, побудовану за результатами проведеного густинного моделювання та за даними геолого-геофізичних

досліджень [5, 10], сполучену зі схемою локальних структур та розломів осадового чохла за [2]. Більшість з цих порушень мають ортогональне простягання до глибинних диз'юнктивів, визначених за інтерпретацією гравітаційних даних, та їхній напрямок в цілому збігається з розломами, які обмежують Голіцинське підняття. Враховуючи, що вказана структура утворилася в альпійську тектонічну епоху, то порушення в межах Біостромної, які мають простягання ПдЗ-ПнС, напевно мають такий же вік. Оскільки цей тектогенез є останнім у часі, ці розломи мають переважаюче значення в сенсі забезпечення осадової товщі вуглеводнями. В результаті аналізу рис. 3 були зроблені висновки щодо ВВ-перспективності локальних об'єктів по забезпеченості їх порушеннями, які могли бути каналами підведення мантієвих флюїдів (табл. 4). Виходячи з цього параметру, більш перспективними на пошуки вуглеводнів є структури Ігорівська (10), Лиса (4), Маріїнська-I – III (16–18), Полуботківська (20), Риф (13), Ярославська-I – II (11–12) та Іванівська зона структур (14).

Оцінка ВВ-перспективності структур за різницевою гравітаційною аномалією. Вище було вказано, що процес підбору параметрів густинних моделей припинявся після досягнення для всієї, або переважаючої частини розрізу величини різницевої аномалії ± 2 мГал. Річ у тім, що на трьох моделях (V, VI та VIII) повністю досягти вказаного значення зміною конфігурацій поверхонь шарів консолідованої частини кори не вдалося. Залишилися локальні (шириною до 8 км) ділянки з більшими позитивними величинами Δg_p . Отримані надлишкові позитивні величини різницевої аномалії свідчать, що густина моделі перевищує фактичну, і вказують на те, що треба в осадовий чохол моделі вносити додаткове зменшення значення ρ .

Такі відрізки моделей на V та VI профілях відповідають положенню Голіцинського родовища. Проведені свого часу сейсмічні дослідження [1] показали, що поклади в газонасичених піщаних колекторах характеризуються зменшенням швидкості повздовжніх хвиль на глибинах 1,5–3 км на 15–30 %, а в нафтонасичених — на 6–12 %. Цей явище пов'язано з розуцільненням

Таблиця 4. Забезпеченість локальних структур глибинними розломами

Характеристика	Перспективні структури			
	Розломи	Немає	Внутрішньокорові	Мантієного закладання
Ступінь ВВ-перспективності (бал)	0	1	2	3
Структура	Г-23 Неантиклінальна пастка-АТП	Біогермна	Г-20 Г-34 Геохімічна Глинська Лиса Моноклінальна АТП Олександрівська-1 Олександрівська-2 Риф (захід, центр) Тендрівська-2	Іванівська зона Ігорівська Маріїнська-I Маріїнська-II Маріїнська-III Полуботківська Риф (схід) Ярославська-I Ярославська-II

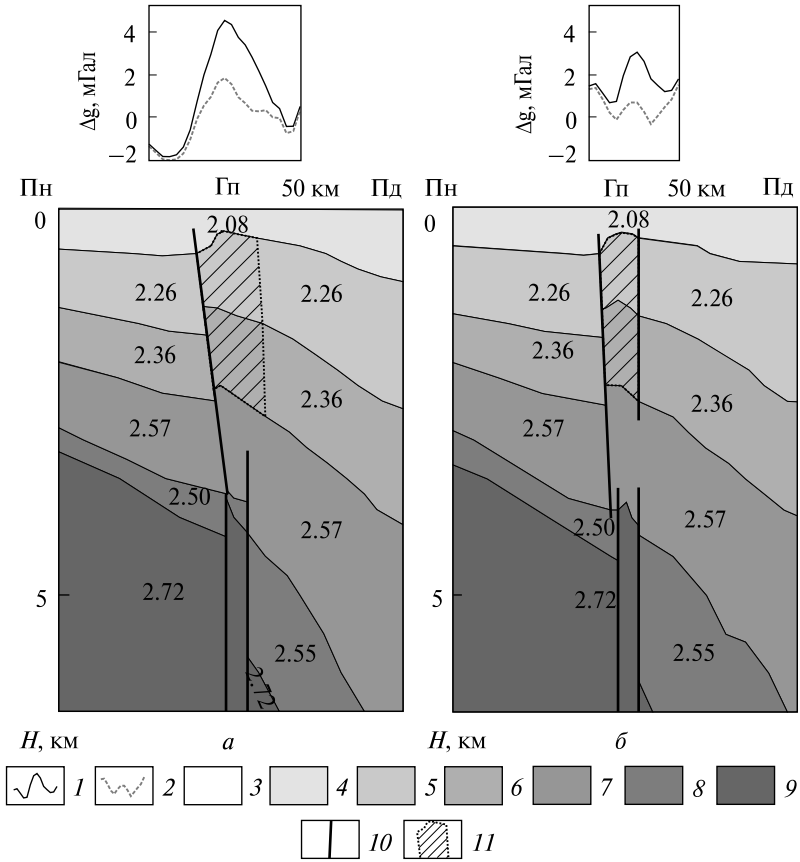


Рис. 4. Фрагменти густинних моделей ($\text{г}/\text{см}^3$) за профілями V (а) і VI (б) з відповідними гравітаційними аномаліями. Гп — Голцінське підняття: 1—2 — різницева аномалія (1 — без розуцільнення продуктивних шарів осадового чохла, 2 — з розуцільненням); 3 — вода; 4—8 — осадові шари (4 — середній міоцен-голоцен ($N_1^2 - Q$), 5 — майкопська свита ($P_3 - N_1$), 6 — палеоцен-еоцен (P_{1-2}), 7 — верхня крейда (K_2), 8 — нижня крейда (K_1)); 9 — складчаста основа Скіфської плити; 10 — розломи; 11 — зона розуцільнення продуктивних шарів

відкладів, яке може бути викликано тріщинуватістю порід, що і забезпечує їх колекторські властивості.

Виходячи з цієї інформації, відповідні ділянки моделей V і VI були додатково перераховані з завданням в межах Голцінського підняття розуцільнення палеоцен-еоценового і майкопського горизонтів, які складають продуктивну товщу (рис. 4). Після зменшення густини цих шарів на $0,04 \text{ г}/\text{см}^3$ була досягнута шукана різницева аномалія менше $\pm 2 \text{ мГал}$. Згідно з геологічними даними, густина карбонатів віку P_{1-2} складає $1,27 - 2,64 \text{ г}/\text{см}^3$, а пісковиків $1,68 - 2,48 \text{ г}/\text{см}^3$ [2]. Отримана в результаті перемодельовання величина палеоцен-еоценових осадів $2,32 \text{ г}/\text{см}^3$ цілком вкладається у вказані інтервали. Результати досліджень підтверджують висновок, що локальна надлишкова позитивна різницева аномалія, отримана після підбору параметрів кристалічної частини кори, пов'язана саме з розуцільненням осадів внаслідок підвищеної тріщинуватості, що може бути індикатором наявності покладів вуглеводнів.

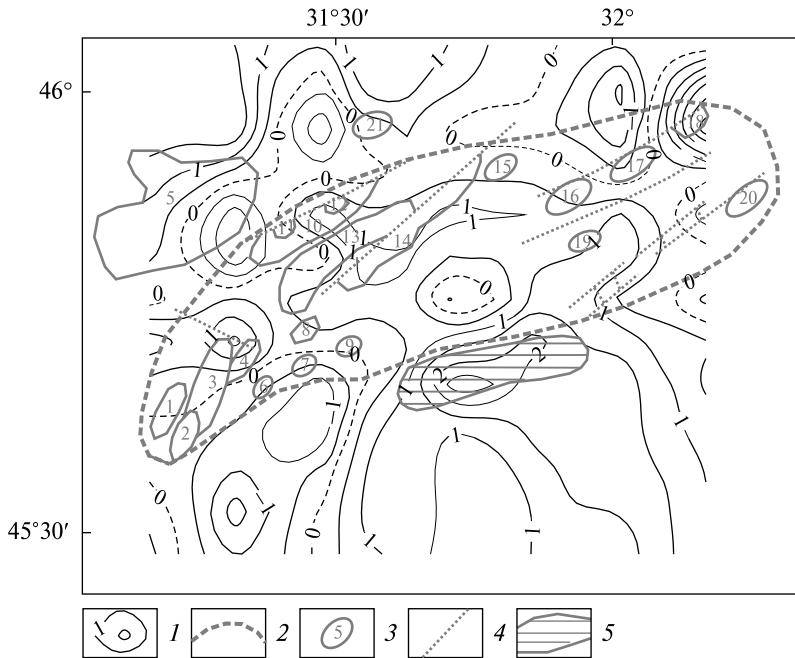


Рис. 5. Схема різницевої аномалії (мГал) з нанесенням положення локальних структур району зони Біостромна за [2]: 1 — різницева аномалія; 2 — границя зони Біостромна; 3 — локальні структури (назви див. рис. 1); 4 — розломи; 5 — Голіцинське родовище вуглеводнів

З метою визначення ВВ-перспективності структур за рівнем різницевої аномалії була побудована сполучена схема розподілу різницевої гравітаційної аномалії та перспективних структур району досліджень (рис. 5). На ній ізолінії $\Delta g_p + 2$ мГал утворюють дві ділянки, найбільша з яких припадає на Голіцинське родовище. Друга така ділянка збігається зі структурою Маріїнська-III (18). На цій підставі можна впевнено припустити, що цей об'єкт також повинен мати розшліщення у вказаних осадових горизонтах, що може супроводжуватися накопиченням вуглеводнів.

Також можна вважати, що структури, які припадають на від'ємні значення Δg_p , продуктивними бути не можуть, бо такі величини різницевої аномалії вказують на підвищену густину осадових шарів і, відповідно, зменшену тріщинуватість порід, що негативно впливає на колекторські властивості відкладів.

Оскільки західний край Голіцинського родовища фактично маркується ізолінією 1 мГал, можна припускати, що також достатньо перспективними можуть бути місця з різницевою аномалією більше 1 мГал. Але щодо фактичної перспективності структур зі значеннями додатних Δg_p , менших за 2 мГал, то потрібно провести додаткові дослідження на інших родовищах.

З рис. 5 видно, що крім структури Маріїнська-III (18), ВВ-перспективність можна очікувати в північних частинах структур Біогермна (3), Геохімічна (5) та Лиса (4), в центральних частинах структур Ігорівська (10) та Риф (13), а також на заході Ярославської-II (12) та Іванівської зони структур (14). Результати співставлення розподілу різницевої гравітаційної аномалії зі структурами району досліджень наведено в табл. 5.

Практичні рекомендації щодо першочерговості пошукових робіт в районі зони Біостромна. На основі проведеного аналізу за всіма наведеними вище чинниками з підсумовуванням балів ВВ-перспективності за кожним із параметрів табл. 2—5 було зроблено висновки про першочерговість пошуків вуглеводнів на окремих ділянках (рис. 6). Оскільки структура Полуботківська (20) і західна частина структури Геохімічна (5) не були забезпечені моделюванням і тому знаходяться поза межами схеми розподілу різницевої аномалії, остаточні висновки щодо їхньої перспективності в даній роботі зробити не можна.

Сума набраних балів може коливатися від 1 до 12. Логічно, що чим вищий сумарний бал, тим більша вірогідність вуглеводненості структури. Тому можна поділити результати на три групи: неперспективні (1—4 бали), мало- та умовно перспективні (5—8 балів) та перспективні, які треба розвідувати в першу чергу (9—12 балів).

Треба відмітити, максимально набраний бал складає тільки 10. Тобто, безперечно перспективних структур в зоні Біостромній за запропонованою методикою не визначено. Найбільш перспективними (10 балів) є структура Маріїнська-III (18), західна частина Ярославської-II (12), центральна частина Іванівської зони структур (14) та східна зона центральної частини Ігорівської (10).

Таблиця 5. Рівень різницевої аномалії

Характеристика	Перспективні структури			
	< 0	0—1	1—2	> 2
Різницева аномалія (мГал)				
Ступінь ВВ-перспективності (бал)	0	1	2	3
Структура	Біогермна (південь) Г-20 (захід) Г-23 Геохімічна (південь та південний схід) Ігорівська (захід) Маріїнська-II Моноклінальна АТП Олександрівська-1 Риф (захід) Ярославська-I (захід)	Біогермна (центр) Г-20 (схід) Г-34 Геохімічна (центр та північний схід) Глинська Іванівська зона (схід) Ігорівська (схід) Лиса (південь) Маріїнська-I Неантиклінальна пастка-АТП Олександрівська-2 Риф (південь та схід) Тендрівська-2 Ярославська-I (схід) Ярославська-II (схід)	Біогермна (північ) Геохімічна (північ) Іванівська зона (захід) Ігорівська (центр) Лиса (північ) Риф (центр) Ярославська-II (захід)	Маріїнська-III

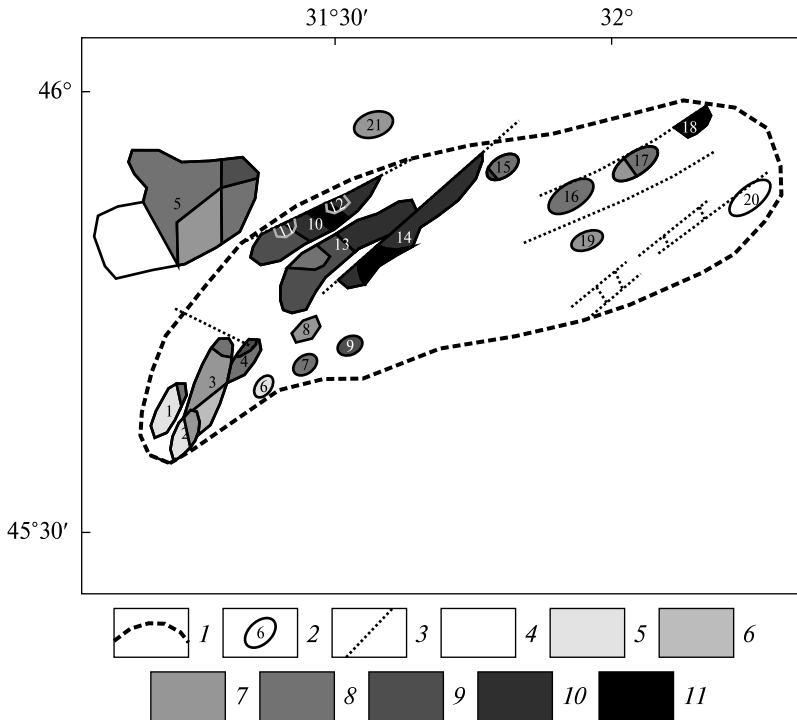


Рис. 6. Схема ВВ-перспективності зони Біостромна за [2] за результатами проведених досліджень: 1 — границя зони Біостромна; 2 — локальні структури (назви див. рис. 1); 3 — розломи; 4–11 — ступінь ВВ-перспективності, в дужках вказано сумарний бал згідно з табл. 2—5 (4 — не визначено, 5 — неперспективні (4), 6–7 — малоперспективні: 6 (5), 7 (6), 8–9 — умовно перспективні: 8 (7), 9 (8), 10–11 — перспективні: 10 (9), 11 (10)

Перспективні (9 балів) — частини структур: західна зона центральної частини та східна частина Ігорівської (10), східні частини Ярославської-I (11) і -II (12), Рифу (Біостромної) (13) та Іванівської зони (14).

Неперспективними виявилися структури Г-23 (6), західні частини Г-20 (1) і структури Моноклінальної АТП (2).

Всі інші об'єкти підпадають під категорію мало- та умовно перспективних та потребують подальших досліджень іншими методами.

Крім того, на північно-західному краї досліджуваної території виділяється ділянка зі значеннями Δg_p більше 1,5 мГал. Вона відповідає Криловському прогину (див. рис. 3), остання тектонічна активізація якого припадає на пізньокімерійську епоху. Хоча і можна припустити тут процеси розущільнення осадових відкладів з накопиченням вуглеводнів, але цей район не відноситься до зони Біостромної, виходить за межі поставленої задачі та потребує окремого вивчення.

Висновки

Проведені дослідження показали, що запропонована методика визначення ВВ-перспективності структур на основі густинного (гравітаційного) моделювання може мати високу ефективність, оскільки за нею визначається аж три чинника вуглеводненості об'єктів.

1. Глибина залягання поверхні кристалічних порід.
2. Положення глибинних порушень та глибина їх закладення.
3. Значення різницевої аномалії.

Ці параметри важливі тому, що, стосовно першого, — інтенсивність взаємодії висхідних потоків глибинних флюїдів з породами земної кори досягає максимуму на верхній кромці кристалічного фундаменту. Наближення її до осадового чохла зменшує розсіювання мантіяного матеріалу та збільшує його надходження до потенційних пасток вуглеводнів. Стосовно другого — деривати у вигляді струменів метану та інших вуглеводнів проникають до земної поверхні саме тріщинами природного флюїдорозриву. Тому розломи мантіяного закладення більш продуктивні з точки зору постачання флюїдів, ніж внутрішньококові. Третій чинник виявляє ділянки зменшеної густини осадового шару або верхньої частини консолідованої кори. Звісно, таке зниження значень $\Delta\rho_p$ може бути викликано не тільки підвищеною тріщинуватістю як фактором забезпечення колекторських властивостей, а й зміною літологічного складу. Але цей показник «відфільтровує» ділянки, де густина перевищує середні показники, що вказує на зменшену тріщинуватість порід, яка негативно впливає на формування в відкладах пасток вуглеводнів.

Крім запропонованої методики використання гравіметричних даних, для визначення ВВ-перспективності враховувався вік кори, що підстелює окремі структури.

Запропонований аналіз результатів багатокомпонентних досліджень значно підвищує надійність виділення з безлічі відстежених сейсморозвідкою об'єктів першочергові на пошуки вуглеводнів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморозведке. Москва: Недра, 1982. 231 с.
2. Гожик П.Ф., Чебаненко І.І., Євдошук М.І., Крупський Б.Л., Гладун В.В., Галко Т.М., Маєвський Б.Й., Максимчук П.Я., Полухтович Б.М., Федішин В.О., Гаврилко В.М., Захарчук С.М., Ключко В.П., Колодій І.В., Мельничук П.М., Туркевич Є.В., Ткаченко А.І., Смирнов І.В., Федун О.М., Колодій Є.О., Пахолок О.В. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря. Київ: ЕКМО, 2007. 232 с.
3. Козленко М.В., Козленко Ю.В. Сопоставление тектонических элементов земной коры с нефтегазоперспективными структурами в Каркинитском прогибе. *Доповіді НАН України*. 2017. № 1. С. 60—65.
4. Козленко М.В., Козленко Ю.В. Визначення положення південної границі Східноєвропейської платформи у межах північно-західного шельфу Чорного моря за гравіметричними даними. *Геофиз. журнал*. 2022. Т. 44, № 4. С. 51—73.
5. Краснощек А.Я. Пространственные особенности активизации глубинных разломов в западной части Черного моря. *Геол. журнал*. 1989. № 1. С. 84 — 88.
6. Кучерук Е.В., Алиева Е.Р. Рифтогенез и нефтегазоносность. М.: ВИНТИ, сер. Месторождения горючих полезных ископаемых, 1991. 244 с.
7. Леонов М. Г., Колодяжный С. Ю., Кунина Н. М. Вертикальная аккреция земной коры — структурно-вещественный аспект. Москва: ГЕОС, 2000. 202 с.
8. Лукин А.Е. Система «суперплюм — глубокозалегающие сегменты нефтегазоносных бассейнов» — неисчерпаемый источник углеводородов. *Геол. журнал*. 2015. № 2. С. 7—20.

9. Лукин А. Е., Шестопалов В. М. От новой геологической парадигмы к задачам региональных геолого-геофизических исследований. *Геофиз. журнал*. 2018. Т. 40, № 4. С. 3–72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i4.2018.140610>
10. Соллогуб В.Б., Чекунов А.В., Пустильников М.Р., Старостенко В.И., Сологуб Н. В., Кутас Р.И., Бородулин М.А., Рвсаков О.М., Бурьянов В.Б., Соловьев В.Д., Рогоза О.И., Шиманский А.А., Щербаков В.В. Геология шельфа УССР. Тектоника. Киев: Наук. думка, 1987. 152 с.

Стаття надійшла 16.03.2023

M.V. Kozlenko, Ph.D. (Geol.), Senior Research Scientist

e-mail: marichakoko@gmail.com

ORCID 0000-0001-5463-6483

Yu.V. Kozlenko, Ph.D. (Geol. & Mineral.), Research Scientist

e-mail: yuriyko.geo@gmail.com

ORCID 0000-0002-7736-5185

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine

32, Palladin ave., Kyiv, Ukraine, 03142

PROSPECTIVITY OF THE BIOSTROMNA ZONE (NORTHWESTERN SHELF OF THE BLACK SEA) FOR HYDROCARBON EXPLORATION ACCORDING TO DENSITY MODELING

In order to determine the hydrocarbon prospectivity (HC-potential) of the Biostromna zone, located on the northwestern shelf of the Black Sea, a systematic two-dimensional density (gravity) modeling was carried out along 8 submeridional profiles. Particular attention was paid to determining the location of deep faults that could be the source of methane and other hydrocarbon jets that penetrated to the earth's surface. To calculate the fluctuations in the magnitude of the gravity effect associated with changes in the density of sediments, models with minimum and maximum values of this parameter were calculated for each layer separately and for the entire sedimentary cover of the Biostromna zone. It is determined that variations in the density of the sedimentary cover lead to fluctuations in the values of model anomalies up to ± 2 mGal. The conducted density modeling has shown a wide variety of basement structure within the Biostromna zone with alternating uplifted and submerged areas of the crystalline crust with a significant change in the structure of the study area in the longitudinal direction. The HC-potential of local structures of the Biostromna zone was assessed by four criteria: 1) by the distance between the base of the sedimentary cover and the roof of the granodiorite layer, since the smaller the value of this parameter, the less the dispersion of mantle material and the greater its flow to potential hydrocarbon traps; 2) by the provision of local structures with deep faults as channels of mantle fluids; 3) by the age of basement formation, which determines the time interval from tectonic activity to the formation of the sedimentary cover; 4) by the level of adjusted gravity difference, which fixes the deconsolidation of certain areas of the sedimentary cover as a factor in improving reservoir properties. Based on the results of the research, the scheme of the Biostromna zone's HC-potential was drawn up. A multi-component analysis of the results of gravimetric studies is proposed, which significantly increases the reliability of selecting priority structures for the search for hydrocarbons from the multitude of objects tracked by seismic exploration.

Keywords: northwestern shelf of the Black Sea, Biostromna zone, dense modeling, prospects for hydrocarbon exploration, deep faults.