

УДК 550.8.05

С. Г. АНІКЕСЬ¹, В. Ю. МАКСИМЧУК², М. М. МЕЛЬНИК²

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна, тел.+38(034)2727123, ел. пошта: geophys@nung.edu.ua

²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, вул. Наукова, 36, Львів, 79060, Україна, тел.+38(032)2648563, ел. пошта: vmaksymchuk@cb-igph.lviv.ua

ГУСТИННА МОДЕЛЬ КОЛОМИЙСЬКОЇ ПАЛЕОДОЛИНИ ПО ГЕОТРАВЕРСУ СГ-I (67) НАДВІРНА – ОТИНІЯ – ІВАНО-ФРАНКІВСЬК

<https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.074>

Мета. Метою роботи є уточнення глибинної будови та перспектив нафтогазоносності Коломийської палеодолини за сейсмогеотраверсом СГ-I (67), який проходить уздовж лінії Надвірна – Коломия – Отинія – Івано-Франківськ. Сейсмогеотраверс СГ-I (67) частково захоплює Бориславо-Покутський покрив, перетинає Самбірську і Більче-Волицьку зони та заходить на Східноєвропейську платформу. **Методика.** Геолого-гравітаційне моделювання будови геологічного розрізу є методом кількісної інтерпретації аномального поля сили тяжіння в редукції Буге, який заснований на рішенні прямих та обернених задач гравірозвідки для складнобудованих середовищ та призначений для побудови оптимальних геогустинних моделей геологічного розрізу. Оптимальна геогустинна модель – це модель, яка узгоджена зі спостереженим гравітаційним полем, не суперечить даним буріння, сейсморозвідки та враховує припущення (гіпотези) інтерпретатора. Передумовою достовірності вказаної методики є її геологічна підпорядкованість, зокрема врахування даних буріння, сейсморозвідки та геолого-тектонічних карт щодо блокової будови фундаменту, закономірностей формування осадового комплексу та зон перетину глибинних розломів, які є потенційними шляхами міграції флюїдів і якими формуються сприятливі умови виникнення структурних і літологічно або тектонічно екранованих пасток вуглеводнів. Крім того, геолого-гравітаційне моделювання використовують для перевірки, уточнення та деталізації структурно-густинних побудов, виконаних за будь-якими іншими способами. **Результати.** Модель сейсмогеологічного розрізу за геотраверсом СГ-I (67) доповнено густинами товщ, які визначено за даними буріння та за результатами моделювання за близько розташованими інтерпретаційними профілями. За результатами геолого-гравітаційного моделювання уточнено геометрію структур та блоків фундаменту. Також отримано деталізований розподіл густини гірських порід уздовж геотраверсу до глибини 20 км. У результаті моделювання у межах певних стратиграфічних комплексів виявлено зони ущільнення і розущільнення. Зони розущільнення у межах додатних структурних форм ідентифіковано як перспективні. **Наукова новизна.** Уточнено та деталізовано структурно-густинні побудови геологічного розрізу уздовж геотраверсу СГ-I (67), що дало змогу отримати нові дані про глибинну будову перерізу Коломийської палеодолини та про перспективи нафтогазоносності окремих її ділянок. Встановлено, що загальні риси покривів, пов'язані з глибинно-розломною тектонікою, відображаються у аномальному гравітаційному полі, що свідчить про достовірність прогнозу елементів глибинної тектонічної і структурної будови регіону за даними геолого-гравітаційного моделювання. **Практична значущість.** Отримані результати свідчать про високу інформативність геогустинного моделювання під час вивчення глибинної будови земної кори у складних сейсмогеологічних умовах Передкарпатського прогину. Виявлені зони розущільнення у палеозойських відкладах у Коломийській палеодолині є перспективними для постановки нафтопошукових робіт.

Ключові слова: Коломийська палеодолина; сейсмогеологічний розріз; гравітаційне поле; аномальне поле сили тяжіння в редукції Буге; геолого-гравітаційне моделювання; густинна модель; прями і обернені задачі гравірозвідки.

Вступ

Коломийська палеодолина займає доволі значну територію південно-східної частини Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Природа її складної морфоструктури поверхні мезозойсько-палеозойських відкладів залишається предметом широких дискусій. З Коломийською палеодолиною геологи пов'язують перспективи

відкриття родовищ нафти і газу. За сейсмічними матеріалами у глибинній будові геологічного розрізу у перетині Коломийської палеодолини доволі контрастно проявляється структурно-блоковий характер донеогенової основи. Морфологія цієї поверхні демонструє складні ерозійні форми врізів та виступів, сформовані водними потоками. Процеси ерозії найпотужніше відбувались у зонах

поздовжніх розколів, утворюючи прирозломні палеодолини. Палеопідняття і палеодолини успадковуються антиклінальними формами горизонтів неогенового комплексу. Зазначені об'єкти представляють очевидний інтерес для постановки нафтогазопошукових робіт, оскільки на схилах палеовиступів мезозойської поверхні у перехідній зоні від глибоководного до мілкоководного басейну осадонагромадження у неогені формувались пачки пісковиків, у яких могли генеруватися поклади вуглеводнів [Заяць, 2005, 2013].

Невисока ефективність нафтогазопошукових робіт у Передкарпатському прогині та Складчастих Карпатах зумовлена не лише складною геологічною будовою, але і труднощами інтерпретації матеріалів сейсморозвідки під час підготовки перспективних об'єктів до пошукового буріння. У цих умовах зростає роль інших несейсмічних (граві-, магніто-, електророзвідки) методів вивчення геологічного розрізу. Серед перспективних способів дослідження геологічних розрізів особливе місце займає геолого-гравітаційне моделювання густинної будови геологічних середовищ. Воно ґрунтується на кількісних методах інтерпретації аномального гравітаційного поля в редукції Буге з урахуванням даних буріння, сейсморозвідки та інших геолого-геофізичних даних. Розвиток інтерпретаційних можливостей гравірозвідки в цьому напрямку ґрунтується на роботах В. М. Страхова, Є. Г. Булаха, С. С. Красовського, О. І. Кобрунова, С. Г. Анікеєва. У сучасних дослідженнях глибинної густинної будови земної кори важливу роль відіграють методи 3D-моделювання за комплексом геофізичних даних [Yegorova, 1997, 2002, Šefara, 2017, Stefaniuk, 2009].

Коротка характеристика геолого-тектонічної будови Коломийської палеодолини (за даними сейсморозвідки і гравірозвідки)

Коломийська палеодолина займає більшу частину найширшої смуги Більче-Волицької зони. Складну морфоструктуру поверхні мезозойсько-палеозойських відкладів палеодолини представлено на структурній карті, побудованій за даними сейсморозвідки (рис. 1). Глибокі врізи у розгалуженнях палеодолини пов'язані з Березівською кільцевою структурою, яка є наслідком (епіцентром) вибуху ендегенного походження [Заяць, 2007]. У локальних аномаліях, які отримані за допомогою трансформації спостереженого поля сили тяжіння методом осереднення, структура відображена комбінацією аномалій різного знаку, узгоджено видовжених у кільцеву форму (рис. 2). Радіальні сегменти врізів Коломийської палеодолини також чітко проявляються в аномаліях гравітаційного поля (рис. 2). Коломийсько-Заболотівська структура з південного заходу від міста Коломиї вузьким сегментом до глибини 1 км врізається в тіло платформи на відстань 50–60 км у напрямку на місто Городенка аж до берегів

р. Дністер. На північному заході центральне палеоруслло Коломийської палеодолини повертає від Отинії на південний захід до Середнього Майдану (рис. 1). З обох боків воно облямоване стрімкими береговими схилами, численними відгалуженнями та врізами. Гіпсометрично найвищою є смуга вздовж північно-східного краю цієї площі, де Східноєвропейська платформа покрита гіпсоангідритовим горизонтом тиранської світи нижнього бадену. Він повною мірою відтворює деталі палеорельєфу доміоценової основи Більче-Волицької зони. За амплітудними ознаками у хвильовому сейсмічному полі гіпсоангідритовий горизонт у південно-західному напрямку, наближаючись до схилів ерозійної поверхні, не простежується. Він змінюється почерговими виходами на доміоценову поверхню відкладів крейди, юри та палеозою. На південному заході центральне палеоруслло Коломийської палеодолини огортається крутими схилами Слобідко-Ліснянського і Коломийського палеовиступів, ускладнених палеорусллами та палеопідняттями, в склепінних частинах яких збереглися відклади гіпсоангідритового горизонту. Палеовиступ характеризується стрімкими північно-західними і північно-східними схилами, сформованими Коршівським палеорусллом, яке, очевидно, успадковує напрямок Рава-Руського розлому [Заяць, 2005]. Глибина палеоруслла досягає 600–700 метрів. Південно-західний та південно-східний схили палеовиступу пологіші. З південного заходу ділянка досліджень обмежується Косівським розломом.

Основними продуктивними комплексами валоподібного палеовиступу і межуючих площ Коломийської палеодолини є теригенні відклади верхнього бадену, піскуваті верстви з хорошими колекторськими властивостями. Їхньою особливістю є лінзоподібні форми та значна мінливість як по латералі, так і в розрізі. Ефективні товщини змінюються в межах перших десятків метрів. Пачки пісковиків слабо простежуються в склепінних частинах і розвинуті більше над схилами палеовиступів [Заяць, 2013]. Це відповідає концепції впливу морфологічних особливостей палеорельєфу доміоценової поверхні (зокрема на південному сході схилу Східноєвропейської платформи) на розміщення в геологічному розрізі неогенових структурно-літологічних пасток [Заяць, 2000].

Донині не визначена продуктивність на нафту і газ відкладів мезозою на південному сході Косівсько-Угерської підзони. Так, здавна привертає увагу унікальна геологічна будова Середньомайданського виступу як останця мезозойських відкладів, що збережений у руслі Коломийської палеодолини. Висота останця близько 1800–2000 м (зліва від Косівського скиду, що у районі Парище, – рис. 3). Довивчення палеоостанця відкриває перспективи пошуку покладів вуглеводнів у автотонній поверхні мезозою і відкладах неогену над його схилами, оскільки є дані про кореляцію геологічної будови останця з родовищем Лопушна [Заяць, 2013].

Мета

Метою роботи є уточнення густинної будови та перспектив нафтогазоносності Коломийської палеодолини за сейсмогеотраверсом СГ-І (67), який проходить уздовж лінії Надвірна – Коломия – Отинія – Івано-Франківськ. Сейсмогеотраверс СГ-І (67) частково захоплює Бориславсько-Покутську зону, перетинає Самбірську і Більче-Волицьку зони та заходить на Східноєвропейську платформу.

Методика геолого-гравітаційного моделювання

Геолого-гравітаційне моделювання [Анікеєв, 1999, 2008, 2012, 2016] використовують для побудови густинних моделей геологічного середовища за спостереженим полем сили тяжіння в редукції

Буге з урахуванням даних буріння, сейсмозв'язки, інших геолого-геофізичних матеріалів.

Гравітаційне моделювання також дає змогу оцінити достовірність апріорних моделей, уточнити та деталізувати їхні елементи. Апріорні (первинні) моделі геологічного розрізу містять дані буріння і сейсмогеологічні побудови. Умову достовірності моделювання закладено в алгоритмічній можливості максимального використання апріорних геолого-геофізичних матеріалів та підпорядкованості результату моделювання змістовним геологічним гіпотезам щодо будови геологічного середовища. Отриманню позитивного результату також сприяє використання оптимальної апроксимаційної конструкції, яка практично не обмежує складність та детальність моделювання геологічних середовищ [Анікеєв, 1997, 2011].

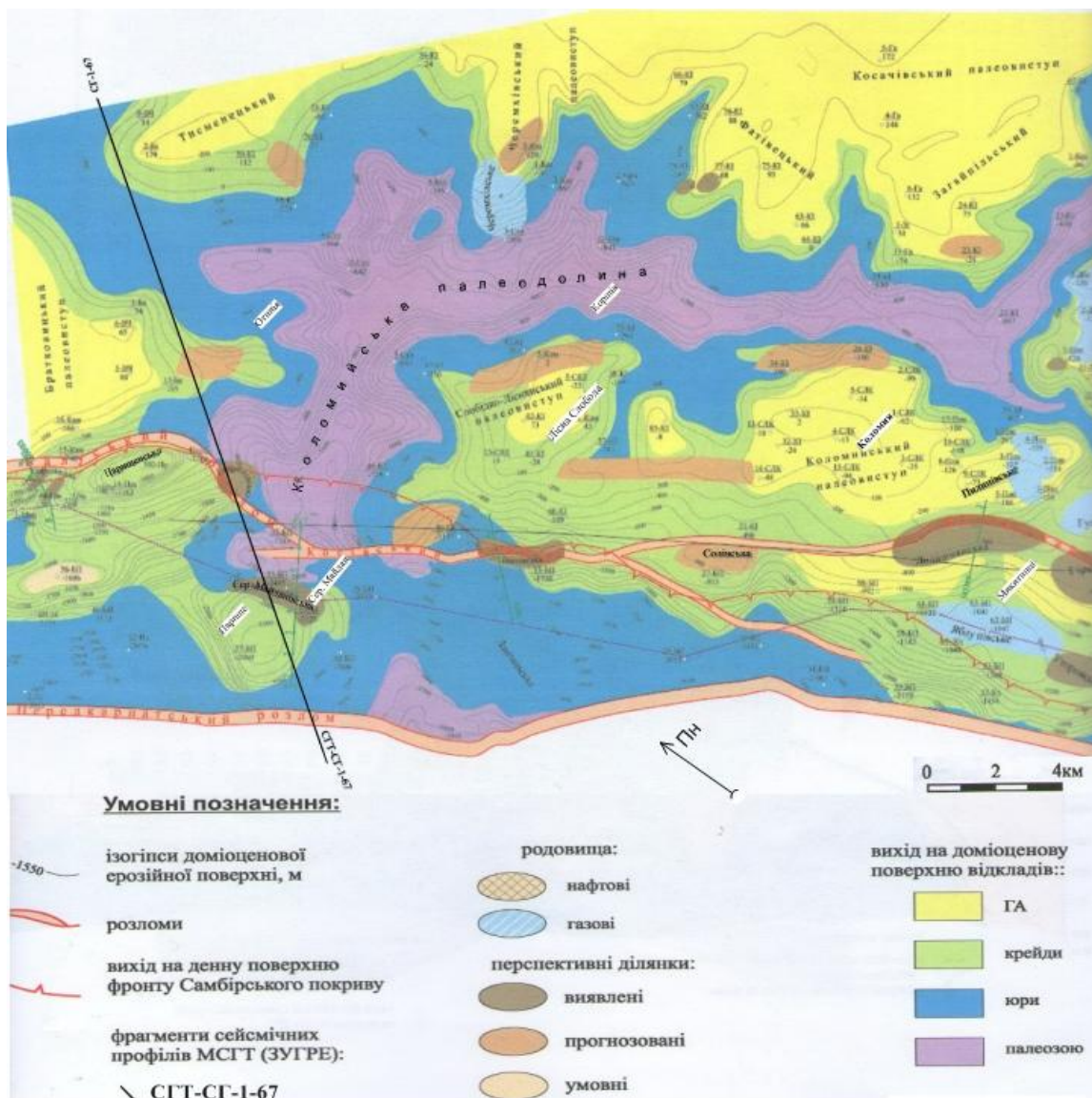


Рис. 1. Фрагмент структурної карти ерозійної доміоценової поверхні Більче-Волицької зони [Заяць, 2013]

Fig. 1. Fragment of the structural map of the Miocene surface of the Bilche-Volytska zone [Zayats', 2013]

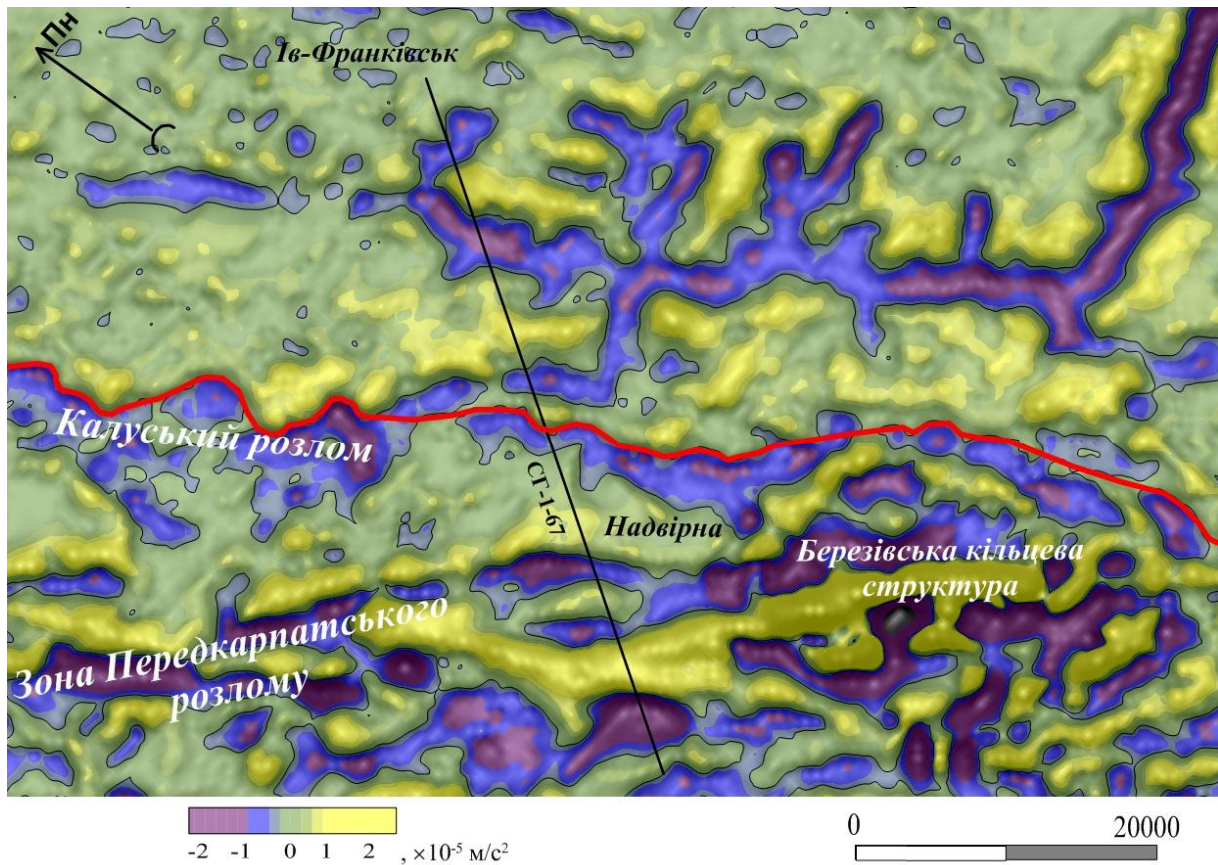


Рис. 2. Фрагмент карти локальних аномалій поля сили тяжіння Українських Карпат у рельєфно-тіньовому зображенні [Анікеєв, 2017]

Fig. 2. Fragment of the map of local anomalies of the field of gravity of the Ukrainian Carpathians in the shaded relief images (trace depth to 2500 m) [Anikeyev, 2017]

Загалом будь-яка методика та технології моделювання мають забезпечувати, по-перше, можливість опрацювання складних моделей геологічного середовища, по-друге, підпорядкування процесу створення й уточнення апріорних моделей геологічному аналізу розбіжностей між спостереженим полем і полем моделі. Такий підхід С. С. Красовський називає гравітаційним моделюванням [Красовський, 2003], а за термінологією Є. Г. Булаха – це просте геологічне моделювання [Булах, 1998, 2010], за В. М. Страховим – метод підбору [Страхов, 2005]. Отже, методику кількісної інтерпретації гравіметричних матеріалів, коли комп'ютерні технології моделювання для складнобудованих середовищ виступають важливим, але лише інструментом геологічної інтерпретації, слід називати методикою геолого-гравітаційного моделювання.

На першому етапі моделювання в інтерактивному режимі якісно аналізують розбіжності між спостереженим полем і полем апріорної (початкової) моделі та у апріорі передбачених межах коригують параметри моделі з метою зменшення розбіжностей між спостереженим полем і полем моделі. У такому інтерактивному

режимі розв'язування прямих задач і аналізу полів досягають наперед заданої якісної узгодженості моделі зі спостереженим полем. Тобто, на першому етапі застосовують метод простого підбору, який є доволі практичним способом розв'язання обернених задач гравіметрії [Страхов, 2005]. Подальшим етапом моделювання є деталізація моделі за розподілом густин або за геометрією сейсмогустинних границь, яку досягають методами розв'язання оберненої задачі гравірозвідки.

Кроки геолого-гравітаційного моделювання такі:

1. Аналіз геолого-геофізичних матеріалів та створення апріорної моделі:

- формування структурної основи моделі, що містить ідентифікацію геологічних границь за даними буріння і сейсмогеологічними побудовами, довізначення їх на всю довжину профілю (площі) моделювання, а також введення додаткових границь для опису окремих геологічних утворень;

- оцінка значень густини гірських порід з урахуванням віку, глибини та умов залягання;

- форматування апріорної моделі за вимогами комп'ютерної системи моделювання;

– розв’язання прямої задачі гравірозвідки та зіставлення поля апріорної моделі зі спостереженим аномальним полем сили тяжіння.

2. Уточнення параметрів апріорної моделі:

– аналіз неузгодженості апріорного і спостереженого полів та визначення напрямків уточнення параметрів моделі для зменшення такої неузгодженості;

– уточнення елементів моделі у межах апріорі визначеного інтервалу достовірності з урахуванням геологічних уявлень про будову розрізу;

– розв’язання прямої задачі гравірозвідки та зіставлення поля уточненої моделі зі спостереженим полем;

– аналіз неузгодженості полів та наступне коригування моделі, розв’язання прямої задачі аж до задовільного узгодження полів.

Уточнена апріорна модель є початковою моделлю (початковим наближенням) до автоматизованого розв’язання оберненої задачі (етап деталізації).

3. Деталізація уточненої моделі за допомогою комп’ютерних технологій розв’язання лінійної або структурної оберненої задачі гравірозвідки. Через неоднозначність розв’язку обернених задач можна побудувати низку формально рівноцінних (еквівалентних) моделей. Тому на цьому кроці методикою та технологіями моделювання забезпечено геологічні ознаки оптимальної моделі середовища:

1) змістовність (досягнення складно-побудованості);

2) узгодженість (використання апріорної геолого-геофізичної інформації);

3) відповідність геологічним гіпотезам інтерпретатора (геологічний фактор).

У комп’ютерних технологіях геолого-гравітаційного моделювання реалізовано алгоритми швидкої згортки розв’язання прямих задач [Анікеєв, 2010, 2011] та ідеї критеріального підходу до розв’язання обернених задач [Кобрунов, 1985].

Геолого-гравітаційне моделювання та його результати

Основою глибинної сейсмогеологічної моделі СГ-I (67) (рис. 3) слугує регіональний профіль КМЗХ, відпрацьований ДП “Спецгеофізика” у 1967 р., на якому виділено лише поверхню дорифейського кристалічного фундаменту K_1 . Глибинну модель СГ-I (67) доповнено границею протофундаменту та горизонтами осадового покриву, запозиченими з близько розташованих профілів КМЗХ РП – III і РП – XXI та часових розрізів МСГТ (сейсморозвідувальні роботи ЗУГРЕ). Уздовж СГТ за чіткими відбиттями часових розрізів близько розташованих профілів МСГТ побудовано поверхню протофундаменту K_2 , яка чітко простежується у північно-східній частині геотраверсу (підтверджено матеріалами КМЗХ по профілю РП-XXI), та перехід до глибинних ускладнень у похованій тектонічній зоні (ПТЗ).

Тут протофундамент K_2 заглиблюється від 4 км на території Східноєвропейської платформи до 16 км під Самбірським покривом. У межах виділеної ПТЗ за зміною динамічних особливостей хвильової картини передбачаються глибинні інтрузії, які проникають у верхній гранітний шар і у рифейський комплекс та досягають підосви осадового покриву. Біля поверхні протофундаменту, ймовірно, формуються глибинні розломи, які поділяють земну кору на блоки і проникають в осадовий покрив. Товща гранітного шару дещо компенсує прогин протофундаменту [Заяць, 2013].

Одним із завдань геолого-гравітаційного моделювання є оцінювання достовірності сейсмогеологічних побудов: чи узгоджується геометрія сейсмогеологічної моделі (рис. 3) зі спостереженим полем сили тяжіння у межах ймовірних густин товщ та блоків? До дискусійних питань щодо глибинної будови регіону слід зарахувати такі: достовірність блокової будови фундаменту, наявність інтрузій у похованій тектонічній зоні фундаменту, складність геометрії поверхні палеозою, наявність палеоостанців мезозойських відкладів і ділянок суттєвих густинних неоднорідностей в осадовому чохлаї та у прирозломних зонах фундаменту.

Апріорна густинна модель відтворює структурну частину сейсмологічної моделі СГ-I (67). Кожну густинну границю визначено на всю довжину геотраверсу, або до розлому, або до виклинювання. Задля зменшення впливу частин розрізу, прилеглих до зони моделювання, які пов’язані з гравітаційним мінімумом у південно-західній частині геотраверсу та з витриманим градієнтом поля в його завершенні у північно-східному напрямку, модель доповнено за геогустинними побудовами, виконаними за близько розташованими профілями [Маєвський, 2012], з урахуванням морфології аномалій поля. Густини товщ та блоків апріорної моделі визначено за даними буріння та за матеріалами вищезгаданих геогустинних побудов.

Уточнена апріорна модель (за методом простого підбору) відрізняється блоковою будовою фундаменту та геометрією осадових товщ, що прилягають до бокових зон, а також значеннями густини по розрізу (рис. 3). Формальною оцінкою точності моделювання є середньоквадратична розбіжність між спостереженим полем і полем моделі, яку зменшено з $5,0 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$ до $1,4 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$.

Деталізовану густинну модель представлено на рис. 4. Модель побудовано за допомогою комп’ютерних технологій розв’язання лінійної оберненої задачі гравірозвідки. За результатами виконаного моделювання середньоквадратичну розбіжність полів зменшено до $0,11 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$.

Аналіз результатів моделювання. Геолого-гравітаційне моделювання для цієї сейсмогеологічної моделі виконано з високою формальною точністю зі збереженням геометрії її товщ та блоків,

оскільки густини уточнено та деталізовано у межах ймовірних значень.

Звернемо увагу, що поле сили тяжіння по профілю зростає від $-75 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$ (зона мінімуму у межах Бориславо-Покутського покриву) до $> -15 \times 10^{-5} \text{ м/с}^2$ (район Тлумача). Натомість густини порід по товщах (блоках) розрізу, навпаки, зменшуються на $0,02-0,08 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. Пояснюється це більшим впливом на поле суттєвого наближення до денної поверхні гравітаційних границь (поверхні мезозой-палеозою, архей-протерозою) у цьому напрямку. Густини архейських та архей-протерозойських комплексів у деталізованій моделі практично не змінилися (рис. 3, 4). Найменшими густинами характеризується центральний Отинійський блок (AR – $2,84 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, PR1 – $2,82 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, PR2 – $2,72 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$), найбільшими – Надвірнянський блок (AR – $2,90 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, PR1 – $2,89 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, PR2 – $2,87 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$). Інтрузії у похованій тектонічній зоні ймовірні, але помітно деяке зменшення (крім прирозломних ділянок) густини у центральній частині виділеної зони в Отинійському і Івано-Франківському блоках (рис. 4), що не дає змоги однозначно підтвердити їхню геометрію,

або, взагалі, їхнє існування. Аномально низькі густини порід від верхнього протерозою і вище по розрізу, що у межах Отинійського блоку, інтенсивність яких у результаті деталізації моделі тільки посилилась, можна пояснити “густинною компенсацією” досить різкого наближення його до денної поверхні.

У результаті моделювання підтверджено наявність палеоостанців мезозойських відкладів у припіднятих ділянках Парище-Отинійських блоків. Більш того, у межах товщ палеозою (Отинійський блок) виявлено інтенсивні зони розущільнення (до $2,60 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$), які розташовані за Калушським скидом та безпосередньо прилягають до північно-східного схилу структури антиклінальної форми і які у заглибленні розділені інтенсивним ущільненням кембрійських відкладів (до $2,67 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$) біля Рава-Руського скиду.

Назагал, осадова товща характеризується значною диференціацією густини гірських порід від 2.42 (N_1) до $2.68 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ (Pz_1). У північно-східній частині геотраверсу складна поведінка густин спостерігається лише у товщах силуру (від $2,60 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ до $2,64 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$).

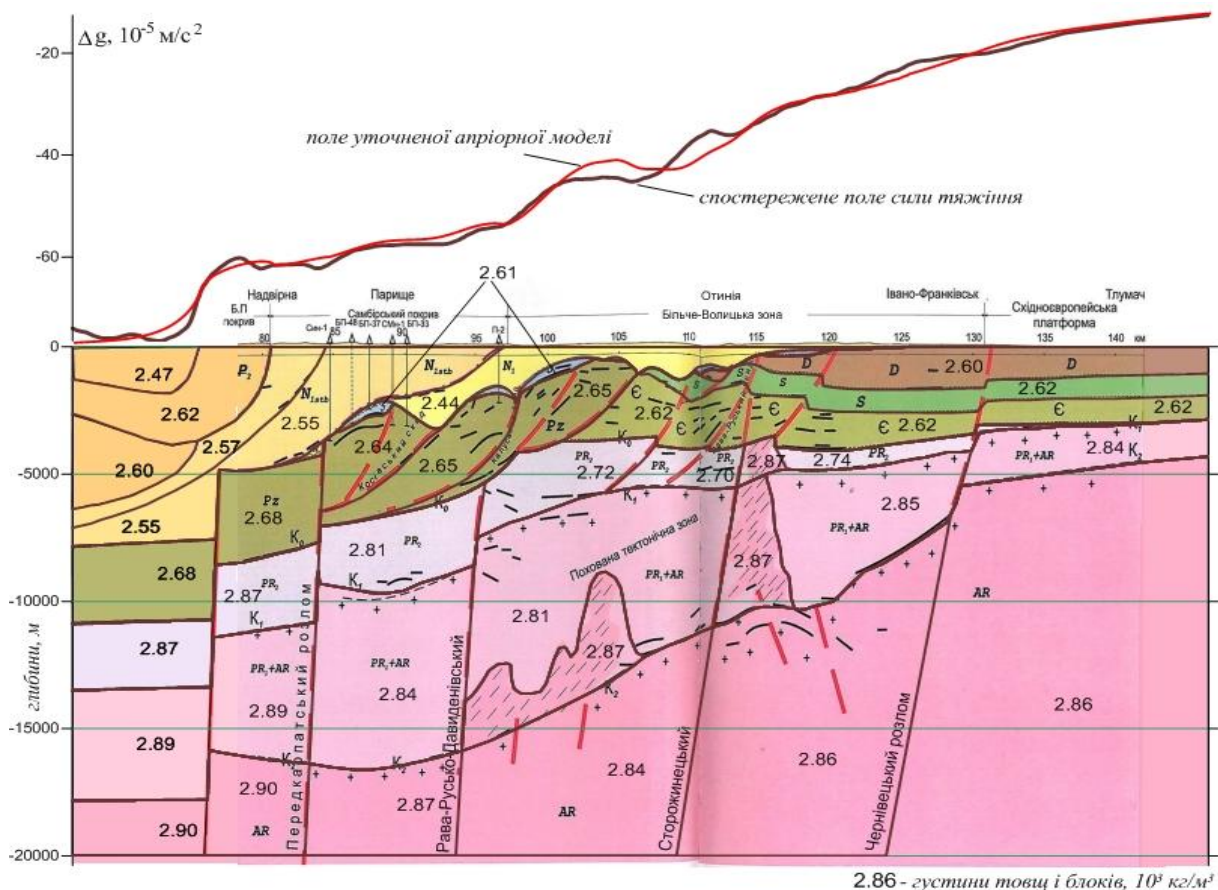


Рис. 3. Уточнена апіорна густинна модель за геотраверсом Надвірна – Отинія – Івано-Франківськ (сейсмогеологічний розріз за [Зяць, 2013])

Fig. 3. The clarified a priori density model for geotraverse Nadvornaya – Otynia – Ivano-Frankivsk (seismogeological section after [Zayats', 2013])

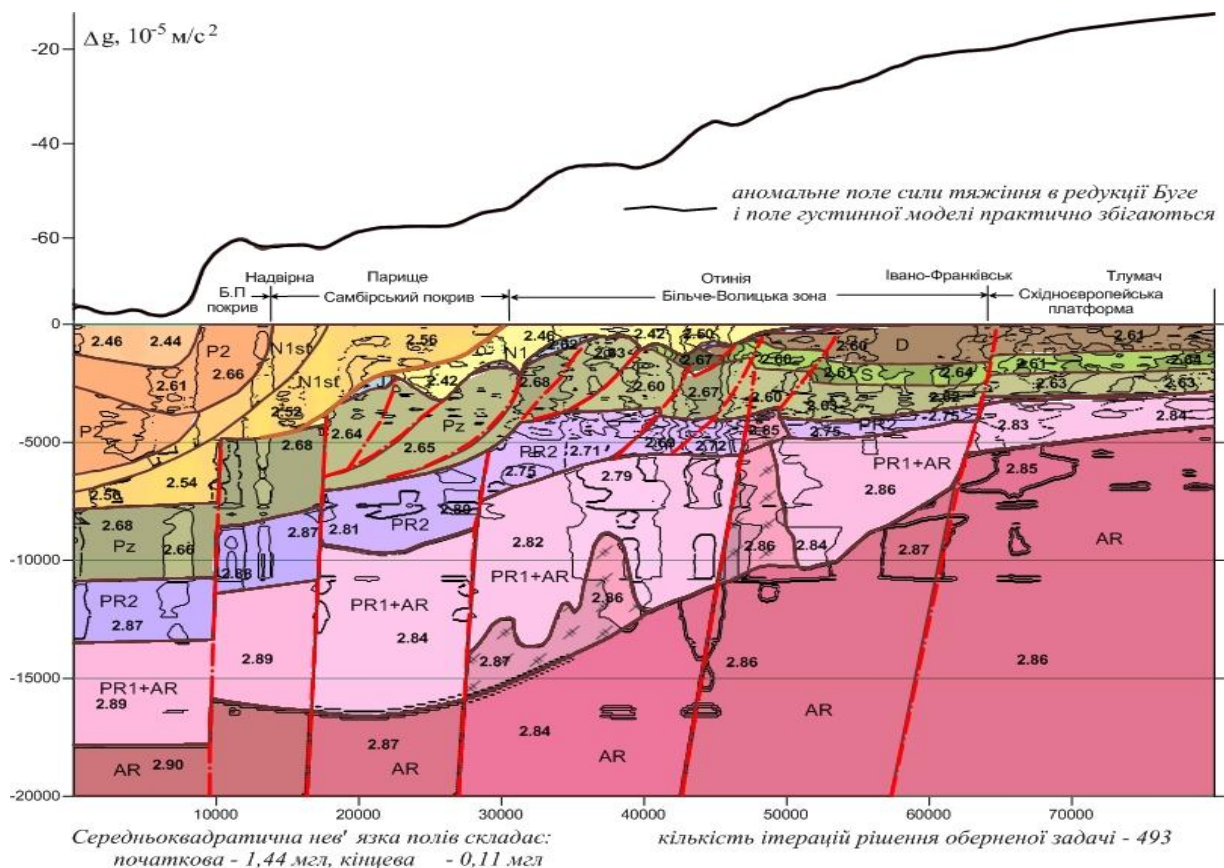


Рис. 4. Деталізована густинна модель за геотраверсом Надвірна – Отинія – Івано-Франківськ

Fig. 4. The detailed a priori density model for Nadvirnaya – Otynia – Ivano-Frankivsk geotraverse

Наукова новизна

Структурну будову геологічного розрізу уздовж сейсмогеотраверсу СГ-1 (67) Надвірна – Отинія – Івано-Франківськ досліджено методами геолого-гравітаційного моделювання.

У загальних рисах геометрія блоків та глибинних розломів фундаменту, а також структурні форми осадового чохла сейсмогеологічного розрізу СГ-1 (67) добре узгоджуються зі спостереженим полем сили тяжіння. Сейсмологічну модель доповнено частиною розрізу Бориславсько-Покутського покриву та розподілом густин. Фактично побудовано сейсмогравігеологічну модель розрізу у перетині північно-західної частини Колумійської палеодолини уздовж сейсмогеотраверсу СГ-1 (67).

Практична значущість

Під час геолого-гравітаційного моделювання уточнено та деталізовано розподіл густин у межах передбачуваної точності первинних структурних побудов та ймовірних інтервалів можливих значень густини геологічних товщ та блоків фундаменту. У осадовому чохлі виявлено низку зон значного розуцільнення та ущільнення. Зони розуцільнення, які прилягають до палеоостанців мезозойських відкладів, прогнозуємо їх як перспективні.

Висновки

Геолого-гравітаційне моделювання уздовж сейсмогеотраверсу СГ-1 (67) є прикладом геологічної ефективності комплексної інтерпретації поля сили тяжіння та сейсмогеологічних матеріалів. Сейсмогеологічні моделі, узгоджені з полем сили тяжіння, уточнені та доповнені детальним розподілом густини, вочевидь є достовірнішими, містять нову інформацію про глибинну будову геологічного середовища та дають змогу оцінювати перспективи на поклади нафти і газу локальних ділянок у межах певних товщ.

Список літератури

Анікеєв С. Г. Комп'ютерна система рішення прямих та обернених задач гравірозвідки для 2D/3D моделей складно побудованих середовищ / С. Г. Анікеєв // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 1997. – Вип. 34. – С. 57–63.
 Анікеєв С. Г. Методика інтерпретації гравіметричних матеріалів при довільній будові геологічних середовищ: дис. канд. геол. наук: 04.00.22 / С. Г. Анікеєв // ІГФ ім. С. І. Суботіна НАНУ. – К., 1999. – 242 с.
 Анікеєв С. Г. Про методику моделювання складно побудованих середовищ в гравірозвідці // Тео-

- ретичні та прикладні аспекти геоінформатики : зб. наук. пр. – К., 2008. – С. 67–72.
- Анікеєв С. Г. Про спосіб швидкого рішення прямої задачі гравірозвідки і магніторозвідки з використанням кінцево-елементних апроксимацій / С. Г. Анікеєв // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики : зб. наук. пр. – К., 2010. – С. 43–51.
- Анікеєв С. Г. Рішення прямих задач гравімагніторозвідки для складних моделей середовища за допомогою швидкої згортки / С. Г. Анікеєв // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 18–20.
- Анікеєв С. Геолого-гравітаційне моделювання по сейсмогеотра-версу СГ-I (67) Надвірна – Отиня – Івано-Франківськ / С. Анікеєв, В. Максимчук, М. Мельник // Матер. VI Міжнар. наук. конф. “Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища”. – Львів : СПОЛОМ, 2016. – С. 26–28.
- Булах Е. Г. Обратные задачи магниторазведки в классе тел, заданных горизонтальными пластинами / Е. Г. Булах, В. В. Прилуков // Геофизический журнал. – 1998. – № 5 – Т. 20. – С. 31–39.
- Булах Е. Г. Прямые и обратные задачи гравиметрии и магнитометрии. Математические методы геологической интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных : монография / Е. Г. Булах. – К. : Наук. думка, 2010. – 463 с.
- Заяць Х. Б. Глибинна будова надр Західного регіону України на основі сейсмічних досліджень і напрямки пошукових робіт на нафту та газ / Х. Б. Заяць. – Львів : ЛВ УкрДГРІ, 2013. – 136 с.
- Заяць Х. Б. Ознаки можливого збагачення корисними копалинами надр феномену Коломийської палеодолини // Комплексное изучение и освоение природных и техногенных россыпей / Х. Б. Заяць, С. Г. Анікеєв // Труды IV Международной научно-практической конференции 17–22 сентября 2007 г. – Симферополь : ПолиПресс, 2007. – С. 40–41.
- Заяць Х. Б. Пошуки нових пасток газу в бадені за змінами ерозійних форм палеорельєфу основи Більче-Волицької зони / Х. Б. Заяць, П. О. Королюк, Л. П. Беловолова // Мінеральні ресурси України. – 2005. – № 5. – С. 23–26.
- Заяць Х. Б. Особливості давнього ерозійного рельєфу мезо-палеозойської основи Передкарпатського прогину за сейсмічними даними / Х. Б. Заяць, Р. П. Морошан, І. І. Довгий // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2000. – № 1. – С. 60–64.
- Кобрунов А. И. Теоретические основы критерияльного подхода к анализу геофизических данных (на примере задач гравиметрии) / А. И. Кобрунов // ИФИНГ. – Ивано-Франковск, 1985. – 269 с. – Деп. в УкрНИИТИ 18.02.86 Т 1280-УК86.
- Красовский С. С. Вещественный состав глубинных блоков Украинского щита, Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса по результатам объемного моделирования / С. С. Красовский, П. Я. Куприенко, А. С. Красовский и др. // Геофизика XXI столетия: 2002 год. Сб. трудов Четвертых геофизических чтений имени В. В. Федынского (28.02.–02.03.2002 г., Москва). – М. : Научный мир, 2003. – С. 76–82.
- Маєвський Б. Й. Новітні дослідження геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибоко-занурених горизонтів Українських Карпат / Б. Й. Маєвський, С. Г. Анікеєв, Л. С. Мончак та ін. ; за ред. Б. Й. Маєвського. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 208 с.
- Страхов В. Н. Решение обратных задач гравиметрии без решения прямых / В. Н. Страхов // Новые теоретические, алгоритмические и технологические разработки в разведочной геофизике. – Препр. – К. : Институт динамики геосфер РАН, Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, 2005. – С. 23–25.
- Yegorova T. P. Preliminary 3-D density model for the lithosphere of the Dnieper-Donets Basin on the basis of gravity and seismic data / T. P. Yegorova, V. G. Kozlenko, R. A. Stephenson, V. I. Starostenko, O. V. Legostaeva // Geofizicheskii Zhurnal, 1997. – Vol. 19(1). – P. 124–125.
- Yegorova T. P. Lithosphere structure of Europe and Northern Atlantic from regional three-dimensional gravity modeling / T. P. Yegorova, V. I. Starostenko // Geophys. J. Int. – 2002. – Vol. 151. – P. 11–31.
- Šefara J. 3D density modelling of Gemeric granites of the Western Carpathians / J. Šefara, M. Bielik, J. Vozár and etc. // Geologica Carpathica. – June 2017. – Vol. 68 (3). – P. 177–192.
- Stefaniuk M. Wybrane problemy magnetotelurycznych i grawimetrycznych badan strukturalnych we wschodniej części Polskich Karpat / M. Stefaniuk, C. Ostrowski, P. Targosz, M. Wojdyla // Geologia. – 2009. – Т. 35. Zeszyt 4/1. – S. 7–46.

С. Г. АНИКЕЕВ¹, В. Е. МАКСИМЧУК², М. М. МЕЛЬНИК²

¹ Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, Ивано-Франковск, 76019, Украина, тел. (0342) 727121, эл. почта: : geophys@nung.edu.ua, anikeyevs@mail.ru

² Карпатское отделение Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, ул. Научная, 36, Львов, 79060, Украина, тел. +38(032)2648563, эл. почта: vmaksymchuk@cb-igph.lviv.ua

ПЛОТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ КОЛОМЫЙСКОЙ ПАЛЕОДОЛИНЫ ПО ГЕОТРАВЕРСУ СГ-I (67) НАДВОРНАЯ – ОТЫНИЯ – ИВАНО-ФРАНКОВСК

Цель. Целью работы является уточнение глубинного строения и перспектив нефтегазоносности Коломыйской палеодолины по сейсмогеотраверсу СГ-I (67), который проходит вдоль линии Надворная-Коломыя-Отыния-Ивано-Франковск. Сейсмогеотраверс СГ-I (67) частично охватывает Бориславо-Покутский покров, пересекает Самборскую и Бильче-Волицкую зоны и заходит на Восточноевропейскую платформу. **Методика.** Геолого-гравитационное моделирование геологического разреза является методом количественной интерпретации аномального поля силы тяжести в редукции Буге. Метод основан на решении прямых и обратных задач гравиразведки для сложнопостроенных сред и предназначен для построения оптимальных геоплотностных моделей геологического разреза. Оптимальная геоплотностная модель – это модель, которая согласована с наблюдаемым гравитационным полем, не противоречит данным бурения, сейсморазведки и учитывает предположения (гипотезы) интерпретатора. Предпосылками достоверности указанной методики являются ее геологическая подчиненность, использование данных бурения, сейсморазведки и геолого-тектонических карт относительно блокового строения фундамента и закономерностей формирования осадочного комплекса, зон пересечения глубинных разломов, которые являются потенциальными путями миграции флюидов и которыми формируются благоприятные условия возникновения структурных и литологических или тектонически экранированных ловушек углеводородов. Кроме того, геолого-гравитационное моделирование используют для проверки, уточнения и детализации структурно-плотностных построений, выполненных какими-либо иными способами. **Результаты.** Модель сейсмогеологического разреза по геотраверсу СГ-I (67) дополнена плотностями толщ, которые определены по данным бурения и моделирования по близко расположенным интерпретационным профилям. По результатам геолого-гравитационного моделирования уточнена геометрия структур и блоков фундамента; детализировано распределение плотностей горных пород до глубин 20 км. В пределах стратиграфических комплексов выявлены зоны уплотнения и разуплотнения. Зоны разуплотнения в пределах положительных форм идентифицированы как перспективные. **Научная новизна.** Уточнены и детализированы структурно-плотностные построения геологического разреза вдоль геотраверса СГ-I (67), что позволило получить новые данные о глубинном строении разреза Коломыйской палеодолины и про перспективы нефтегазоносности отдельных ее участков. Установлено, что общие черты покровов, связанные с глубинно-разломной тектоникой, отображаются в аномальном гравитационном поле, что свидетельствует о достоверности прогноза элементов глубинного тектонического и структурного строения региона по данным геолого-гравитационного моделирования. **Практическая значимость.** Полученные результаты свидетельствуют о высокой информативности геоплотностного моделирования при изучении глубинного строения земной коры в сложных сейсмогеологических условиях Предкарпатского прогиба. Выявленные зоны разуплотнения в палеозойских отложениях Коломыйской палеодолины являются перспективными для постановки нефтепоисковых работ.

Ключевые слова: Коломыйская палеодолина; сейсмогеологический разрез; гравитационное поле; аномальное поле силы тяжести в редукции Буге; геолого-гравитационное моделирование; плотностная модель; прямые и обратные задачи гравиразведки.

S. ANIKEYEV¹, V. MAKSYMCHUK², M. MELNYK²

¹ Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, 15, Karpatskaya Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine, tel. +38(0342) 727121, e-mail: : geophys@nung.edu.ua, anikeyevs@mail.ru

² Carpathian Branch of S. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 3b, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine, tel./fax +38(032)2648563, e-mail: vmaksymchuk@cb-igph.lviv.ua

DENSITY MODEL OF THE KOLOMIYA PALEOVALLEY ALONG GEOTRAVERS SG-I (67) NADVIRNA – OTYNIYA – IVANO-FRANKIVSK

Purpose. The aim of this paper is to clarify the deep structure and prospects of the oil and gas potential in the Kolomiya paleo-valley along the seismo-geotravers SG-I (67), which run along the line Nadvirna-Kolomiya-Otyniya-Ivano-Frankivsk. Seismo-geotravers SG-I (67) and partially covers the Borislav-Pokutsky cover, crosses the Sambor and Bilche-Volitsa zones, and enters the Eastern European platform. **Methodology.**

Geological-gravitational modeling of this geological section consists in a quantitative interpretation of the anomalous of Bouguer gravity, which is based on solving direct and inverse gravity problems for complex environments and is intended to be used for the construction of optimal geological density models of the geological section. The optimal geo-density model is a model that is consistent with the observed gravitational field, does not contradict the drilling and seismic data, and takes into account the interpreter's foresight (hypotheses). The prerequisite for the reliability of this technique is its geological subordination, the use of drilling data, seismic data, and geological-tectonic maps made according to the block structure of the basement and patterns of formation of the sedimentary complex and the zones of intersection of deep faults, which are the potential routes of fluid migration, and which create favorable conditions for the emergence of structural and lithologically or tectonically screened traps of hydrocarbons. In addition, geologic-gravity modeling is used to verify, refine, and specify the structurally dense constructions, which are performed in some other way. **Results.** The model of the seismo-geological section along the geotravers SG-I (67) was supplemented by the densities of the strata, which were determined from the drilling and modeling data, based on the interpretational profiles located side by side. The geometry of the structures and foundation blocks, based on the results of geological and gravity modeling, was refined. The distribution of the rock densities to a depth of 20 km was also detailed. As a result of the modeling there were revealed zones of compaction and decompaction within the stratigraphic complexes. The zones of decompaction within positive forms have been identified as promising for oil exploration. **Originality.** Structural and density features of the geological section along the SG-I (67) geotraverse have been clarified and detailed. This made it possible to obtain new data on the deep structure of the Kolomiya paleo-valley section and oil and gas prospects in its individual sections. It is established that the common features of the covers associated with deep-fault tectonics are displayed in the anomalous gravitational field, which indicates the reliability of the forecast of the elements of the deep tectonic and structural features of the region from the data of geological-gravity modeling. **Practical significance.** The obtained results testify to the high informativeness of geo-density modeling in the study of the deep structure of the Earth's crust in the complex seismic geological conditions of the Precarpathian trough. The revealed reduced density zones in the Paleozoic sediments of the Kolomiya paleo-valley are promising for setting up oil exploration works.

Key words: Kolomiya paleovalley; seismo-geological section; gravity field; anomalous Bouguer gravity; geological-gravity modeling; density model; gravity direct and inversion.

REFERENCES

- Anikeyev S. G. *Komp'yuterna systema rishennya pryamykh ta obernenykh zadach hravirozvidky dlya 2D/3D modeley skladno pobudovanykh seredovyshch* [The computer system of solutions of the direct and inverse problems of gravity for 2D/3D models of complex environments], *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch* [Exploration and development of oil and gas fields], 1997, Vol. 34, pp. 57–63.
- Anikeyev S. G. *Metodyka interpretatsiyi hravimetrychnykh materialiv pry dovil'niy budovi heolohichnykh seredovyshch. Diss. kand. geol. nauk* [Methods of the interpretation of gravimetric materials for complex geological environments. The diss. of the candidate of geol. sci.], S. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1999, 242 p.
- Anikeyev S. G. *Pro metodyku modelyuvannya skladno pobudovanykh seredovyshch v hravirozvidtsi* [On the method of modeling complex built environments in gravity], *v kn.: "Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky"* [Proc. "Theoretical and practical aspects of Geoinformatics"], Kyiv, 2008, pp. 67–72.
- Anikeyev S. G. *Pro sposib shvydkoho rishennya pryamoji zadachi hravirozvidky i mahnitrozvidky z vykorystannyam kintsevo-elementnykh aproksymatsiy* [On the way to a quick solution of the direct problem of gravity and magnetic prospecting using finite-element approximations], *v kn.: "Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky"* [Proc. "Theoretical and practical aspects of Geoinformatics"], Kyiv, 2010, pp. 43–51.
- Anikeyev S. G. *Rishennya pryamykh zadach hravimahnitorozvidky dlya skladnykh modeley seredovyshcha za dopomohoyu shvydkoyi z-hortky* [Solving of the direct problem of gravimagnetometry for complex models of environment using fast convolution]. *Heodynamika [Geodynamics] (Ukraine)*, 2011, no. 2(11), pp. 18–20.
- Anikeyev S., Maksymchuk V., Mel'nyk M. *Heoloho-hravitatsiyne modelyuvannya po seysmoheotraversu S-H-I (67) Nadvirna-Otynia-Ivano-Frankivs'k* [Geological-gravitational modeling along the seismic geo traverse SG-I(67) Nadvirna-Otynia-Ivano-Frankivsk]. *Materials of VI International scientific conference "Geophysical technologies for prediction and monitoring of geological media"*, Lviv, September 20–23, 2016, 309 p.
- Bulakh E. G., Prilukov V. V. *Obratnye zadachi magnitorazvedki v klasse tel, zadannykh gorizontaln'nyimi plastinami* [Inverse problems of magnetic prospecting in the class of bodies defined by horizontal plates]. *Geofizicheskiy zhurnal – Geophysical Journal (Ukraine)*, 1998, no. 5. T. 20, pp. 31–39.
- Bulakh E. G. *Pryamyje i obratnye zadachi gravimetrii i magnitometrii. Matematicheskie metody geologicheskoy interpretatsii gravimetricheskikh i magnitometricheskikh dannykh: monografiya* [Direct and inverse problems of gravimetry and magnetometry. Mathematical methods of geological interpretation of gravimetric and magnetometric data: monograph], Kyiv, *Nauk. dumka*, 2010, 463 p.

- Zayats' Kh. B. *Hlybynna budova nadr Zakhidnoho rehionu Ukrayiny na osnovi seysmichnykh doslidzhen' i napryamky poshukovykh robot na naftu i haz* [Deep structure of the subsoil Western Ukraine from seismic surveys and prospecting areas for oil and gas], Lviv, *LV UkrDGRI*, 2013, 136 p.
- Zayats' Kh. B., Anikeyev S. G. *Oznaky mozhlivoho zbahachennya korysnymi kopalynamy nadr fenomenu Kolomyys'koyi paleodolyny* [Signs of a possible enrichment of minerals subsurface phenomenon of Kolomyia's paleovalley], *Kompleksnoe izuchenie i osvoenie prirodnih i tehnogennykh rossypej. Trudy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 17–22 sentjabrja 2007g. Simferopol'* [Comprehensive study and development of natural and technogenic placers. Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference September 17–22, 2007. Simferopol], *Simferopol, PolyPress*, 2007, pp. 40–41.
- Zayats' Kh. B., Korolyuk P. O., Byelovolova L. P. *Poshuky novykh pastok hazu v badeni za zminamy eroziynykh form paleorel'yefu osnovy Bil'che-Volyts'koyi zony* [The search for new gas traps in Baden changes erosion forms paleorelief of bases of the Bilche-Volytska zone]. *Mineral'ni resursy Ukrayiny [Mineral resources of Ukraine]*, 2005, no 5, pp. 23–26.
- Zayats' Kh. B., Moroshan R. P., Dovhyi I. I. *Osoblyvosti davn'oho eroziynoho rel'yefu mezo-paleozoys'koyi osnovy Peredkarpats'koho prohynu za seysmichnymi danymi* [Features ancient of erosional relief of the Meso-Paleozoic Precarpathian deep basis from seismic data]. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn. [Geology and Geochemistry of Combustible Minerals]*, 2000, no 1, pp. 60–64.
- Kobrunov A. I. *Teoreticheskie osnovy kriterial'nogo podhoda k analizu geofizicheskikh dannyh (na primere zadach gravimetrii)* [The theoretical basis of a criteria approach to the analysis of geophysical data (on example of the gravity problems)]. *IFIOG, Ivano-Frankivsk*, 1985, 269 p. Dep. Ukr. SRI STI 18.02.86 T 1280-UK86.
- Krasovskiy S. S., Kuprienko P. Ya., Krasovskiy A. S. and etc. *Veshchestvennyy sostav glubinykh blokov Ukrainського shchita, Dneprovo–Donetskoy vpadiny i Donbassa po rezul'tatam ob"emnoho modelirovaniya. Geofizika XXI stoletiya: 2002 god. Sb. trudov Chetvertykh geofizicheskikh chteniy imeni V. V. Fedynskogo (28.02. – 02.03.2002 g., Moskva)* [The material composition of the deep blocks of the Ukrainian Shield, the Dneprovo-Donets Basin and the Donbass basing on the results of 3D modeling. Geophysics of the XXI century: 2002. Collected Works of the Fourth Geophysical Readings named after V. V. Fedynsky (February 28 – March 2, 2002, Moscow)], *Moscow, Nauchnyy mir*, 2003, pp. 76–82.
- Mayevs'kyj B. J., Anikeyev S. G., Monchak L. S. and etc. *Novitni doslidzhennya geologichnoyi budovy i perspekty v naftogazonosnosti glybokozanurenyx goryzontiv Ukrayins'kyx Karpat* [Recent studies of the geological structure and prospects of oil and gas horizons deeply immersed Ukrainian Carpathians]. *Ivano-Frankivsk, IFNTUOG*, 2012, 208 p.
- Strakhov V. N. *Reshenie obratnykh zadach gravimetrii bez resheniya pryamykh. Nove teoreticheskie, algoritmicheskie i tehnologicheskie razrabotki v razvedochnoy geofizike* [The solution of inverse problems of gravimetry without solution of direct problems. New theoretical, algorithmic and technological developments in exploration geophysics], *Kyiv, Institute of Dynamics of Geospheres of the Russian Academy of Sciences, Center for Management and Marketing in the Field of Earth Sciences of the IGN of NAS of Ukraine*, 2005, pp. 23–25.
- Yegorova T. P., Kozlenko V. G., Stephenson R. A., Starostenko V. I., Legostaeva O. V. *Preliminary 3-D density model for the lithosphere of the Dnieper-Donets Basin on the basis of gravity and seismic data. Geofizicheskii Zhurnal* [Geophysical Journal], 1997. Vol. 19(1), pp. 124–125.
- Yegorova T. P., Starostenko V. I. *Lithosphere structure of Europe and Northern Atlantic from regional three-dimensional gravity modelling. Geophys. J. Int.*, 2002. Vol. 151, pp. 11–31.
- Šefara J., Bielik M., Vozár J. and etc. *3D density modelling of Gemeric granites of the Western Carpathians. Geologica Carpathica*, June 2017. Vol. 68 (3), pp. 177–192.
- Stefaniuk M., Ostrowski C., Targosz P., Wojdyla M. *Wybrane problemy magnetotellurycznych i grawimetrycznych badan strukturalnych we wschodniej czesci Polskich Karpat* [Selected problems of magnetotelluric and gravimetric structural studies in the eastern part of the Polish Carpathians]. *Geologia*, 2009. Vol. 35, no 4/1, pp. 7–46 (in Polish).

Надійшла 18.05.2017 р.